

23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

245

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA ZONA
DE ACTOPAN-COTAXTLA EN EL ESTADO
DE VERACRUZ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

Jorge Isauro López González



México, D. F.

1995.

FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
DIVISION DE MATEMATICAS E INGENIERIA
JEFATURA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 8 DE JULIO DE 1992. ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE TESIS: "ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA ZONA DE ACTOPAN-COTAXTLA EN EL ESTADO DE VERACRUZ".

- I.- INTRODUCCION.
 - II.- CLIMA.
 - III.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL.
 - IV.- GEOLOGIA.
 - V.- HIDROGEOQUIMICA.
 - VI.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS.

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

SIN MAS POR EL MOMENTO. RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI SAZA HABLARA EL ESPIRITU"
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 7 DE FEBRERO DE 1995

ING. CARLOS ROSALES AGUILAR
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Comisión Nacional del Agua, en especial a la Gerencia de Aguas Subterráneas, por las facilidades que fueron otorgadas para la realización del presente trabajo.

Así mismo expreso mi gratitud a los Ingenieros Martha Lozano C. y Roberto Sención A. de la Jefatura de Proyectos por su valioso asesoramiento y conocimientos en el campo de la Geohidrología.

Al Ingeniero Francisco Anzures Rosas por su valioso asesoramiento y apoyo.

Al Ingeniero Sergio Martínez Gracida por su amistad y amplios conocimientos que me brindo cuando le solicite.

A los Sinodales que han mejorado la calidad del presente trabajo.

A todas aquellas personas que han contribuido para mi formación tanto profesional como personal.

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO

Con Respeto a mis padres :

**Isauro López Maldonado y
Graciela González Hernández**

Con Dedicación a mis hermanos :

**Balbina, Lourdes, Bertha,
Soledad, Graciela, Patricia,
Ivonne, Dalila,
Ricardo, Gilberto y Sergio**

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA ZONA DE ACTOPAN-COTAXTLA EN EL ESTADO DE VERACRUZ

INDICE	PAG.
1. - INTRODUCCION.....	1
1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.3. LOCALIZACION, POBLACION.....	4
1.4. VIAS DE COMUNICACION.....	8
1.5. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.....	10
1.6. METODOLOGIA.....	11
1.6.1. ACTIVIDADES DE GABINETE.....	11
1.6.2. ACTIVIDADES DE CAMPO.....	12
2. - CLIMA.....	13
2.1. VEGETACION.....	14
2.2. PRECIPITACION.....	15
2.3. TEMPERATURA.....	15
2.4. EVAPORACION POTENCIAL.....	16
3. - HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	29
3.1. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES.....	29
3.2. USO DEL AGUA SUPERFICIAL.....	32
3.3. BALANCE DEL AGUA SUPERFICIAL.....	34
4. - GEOLOGIA.....	37
4.1. FISIOGRAFIA.....	37
4.2. GEOLOGIA GENERAL.....	40
4.3. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.....	42
4.3.1. UNIDAD DE ALTA PERMEABILIDAD.....	42
4.3.2. UNIDAD DE PERMEABILIDAD MEDIA.....	43
4.3.3. UNIDAD DE PERMEABILIDAD BAJA.....	43
4.4. ACUIFEROS.....	43

	PAG.
5.- HIDROGEOQUIMICA.....	49
5.1. MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA.....	49
5.2. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA.....	50
5.2.1. TEMPERATURA.....	50
5.2.2. POTENCIAL DE HIDROGENO (ph).....	51
5.2.3. SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.....	52
5.2.4. CATIONES.....	55
5.2.5. ANIONES.....	58
5.2.6. DIAGRAMA DE PIPER.....	64
5.3. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA.....	70
5.4. CALIDAD DEL AGUA.....	70
5.4.1. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO (DIAGRAMA DE WILCOX)	71
5.4.2. CALIDAD DE AGUA PARA USO POTABLE.....	76
5.4.3. CALIDAD DE AGUA PARA ABREVADERO.....	77
5.4.4. CALIDAD DE AGUA PARA LA INDUSTRIA.....	78
6.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.....	80
6.1. PIEZOMETRIA.....	80
6.1.1. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO.....	80
6.1.2. ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO.....	81
6.1.3. EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO.....	82
6.2. USO DEL AGUA SUBTERRANEA.....	82
6.3. EXTRACCION ACTUAL.....	83
6.4. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS.....	91
6.4.1. PRUEBAS DE BOMBEO.....	93
6.5. RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS.....	97
6.6. BALANCE GEOHIDROLOGICO.....	107
7.- CONCLUSIONES.....	119
8.- RECOMENDACIONES.....	121
9.- BIBLIOGRAFIA.....	122
10.- ANEXO.....	123

INDICE DE FIGURAS

PAG.

FIGURA	1 LOCALIZACION DE LA ZONA.....	05
FIGURA	2 LOCALIZACION DE MUNICIPIOS.....	06
FIGURA	3 VIAS DE COMUNICACION.....	09
FIGURA	4 LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS	24
FIGURA	5- 6 HIDROGRAMAS MENSUAL.....	25- 26
FIGURA	7- 8 HIDROGRAMAS ANUAL.....	27- 28
FIGURA	9 REGION HIDROLOGICA.....	31
FIGURA	10 CORRIENTES SUPERFICIALES DE LA ZONA.....	33
FIGURA	11 PROVINCIAS FISIOGRAFICAS.....	39
FIGURA	12-14 SECCION HIDROLOGICA (A-B, E-F, C-D).....	46- 48
FIGURA	15 INTERFASE SALINA.....	54
FIGURA	16-18 DIAGRAMAS DE PIPER.....	67- 69
FIGURA	19-21 DIAGRAMAS DE WILCOX.....	73- 75
FIGURA	22 CORTES LITOLOGICOS.....	92
FIGURA	23 NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL CAUDAL.....	94
FIGURA	24-31 PRUEBAS DE BOMBEO DE APROVECHAMIENTOS.....	99-106
FIGURA	32 CALCULO DEL CAUDAL DEL FLUJO SUBTERRANEO.....	110
FIGURA	33 HIDROGRAMA DE LACORRIENTE (RIO LA ANTIGUA)	113

INDICE DE PLANOS

N° 1	ISOYETAS MEDIAS ANUALES
N° 2	PLANO HIDROGEOLOGICO
N° 3	LOCALIZACION DE APROVECHAMIENTOS
N° 4	SOLIDOS TOTALES DISUELTOS
N° 5	SODIO (Na ⁺⁺)
N° 6	CLORO (Cl ⁻⁻)
N° 7	FAMILIAS DE AGUA
N° 8	PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO
N° 9	ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO
N° 10	EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

1.- INTRODUCCION

Es importante el tratado del agua subterránea, ya que el aprovechamiento de este recurso es de tipo doméstico, agrícola, ganadero e industrial, aunque gran parte del potencial hidráulico que se requiere, principalmente para el riego es de agua superficial, ya que el estado de Veracruz presenta un alto índice de lluvia, propiciando las corrientes superficiales que son aprovechadas en su gran mayoría por las áreas demandantes, a la vez cierta parte del agua se infiltra, siendo la fuente primaria de la recarga alcanzando la zona de saturación y elevando el nivel freático.

El agua subterránea representa una fase en el ciclo hidrológico donde el flujo base del caudal de las corrientes superficiales, proviene del agua subterránea y a la vez, la recarga de los acuíferos es consecuencia del agua infiltrada, a través de los espacios porosos, fracturas de las rocas y cavidades del suelo, según la frecuencia de la precipitación pluvial, por lo que el agua subterránea depende en gran parte de la hidrología superficial.

Para lograr un buen análisis de la disponibilidad del acuífero se necesita hacer un estudio geohidrológico que proporcione el tipo, cantidad y calidad de agua que se encuentra en la zona, que dependerá de las características hidrológicas, así como de sus condiciones físicas, auxiliándose de la Geología, Hidráulica, Topografía y algunas otras ciencias.

Parte de la porción central del estado de Veracruz, delimitada por la cuenca que conforman los ríos Actopan-La Antigua-Jamapa-Cotaxtla, cuenta con abundantes recursos hidráulicos superficiales, ya que existen numerosas corrientes y cuerpos de agua, que pueden abastecer la demanda de los habitantes de esta región. Aunque por otro lado, en algunos poblados se suministra el agua por medio de pozos profundos y se aprovecha en el riego y la industria, y a medida que pasa el tiempo se incrementa la demanda. Principalmente, en la zona costera se presenta el riesgo del sobre-bombeo en los mantos acuíferos, que trae como consecuencia la intrusión salina, de esta forma es necesario realizar un estudio geohidrológico de la zona.

Por lo anterior el presente estudio pretende esclarecer en qué medida, los acuíferos son aprovechados de una manera eficaz, sin rebasar la estabilidad de la cantidad de agua que se puede extraer, que tenga características propias y de

buena calidad, del vital líquido.

1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- a) Determinar el tipo de acuífero y su capacidad de ser aprovechable.
- b) Conocer la calidad del agua
- c) Conocer las oscilaciones de los niveles del agua subterránea a través del tiempo.
- d) Establecer el esquema del flujo subterráneo.
- e) Calcular el balance geohidrológico de los acuíferos.
- f) Definir las condiciones de explotación en que se encuentran sometidos los acuíferos.

1.2. ANTECEDENTES

Desde hace una década, en el estado de Veracruz se han realizado estudios de carácter geohidrológico, principalmente en las partes bajas de las cuencas de Jamapa-Cotaxtla, ya que abastece de agua al puerto de Veracruz y otras ciudades importantes, con el fin de determinar las condiciones en que se encuentran los acuíferos, dando como resultado la presencia de depresiones piezométricas producidas por el sobre-bombeo local, en una franja paralela a la costa debido a las demandas de consumo. Además de tener programado la perforación de pozos en la zona de Cotaxtla, y la rehabilitación de los distritos de riego en Actopan y La Antigua abasteciéndose de agua mediante presas derivadoras de agua superficial perteneciente a los ríos principales de cada cuenca respectiva, por lo que se requiere conocer las condiciones hidroclimáticas y geohidrológicas de la región.

La Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), realizó estudios dentro de la zona, a partir de 1973, en las ciudades de Veracruz, donde se obtuvo que la mejor zona para extraer agua subterránea es en ambos márgenes de los ríos Jamapa y Cotaxtla ya que la calidad del agua es en general buena, de acuerdo a los resultados hidrogeológicos.

Además dicha Subdirección realizó un "Estudio Geohidrológico del valle de Actopan-La Antigua-Cotaxtla", en el año de 1980, con el que se pretende conocer, con mayor amplitud la zona para determinar, las características, la calidad del agua, la descarga y la recarga de los acuíferos.

1.3. LOCALIZACION Y POBLACION

LOCALIZACION

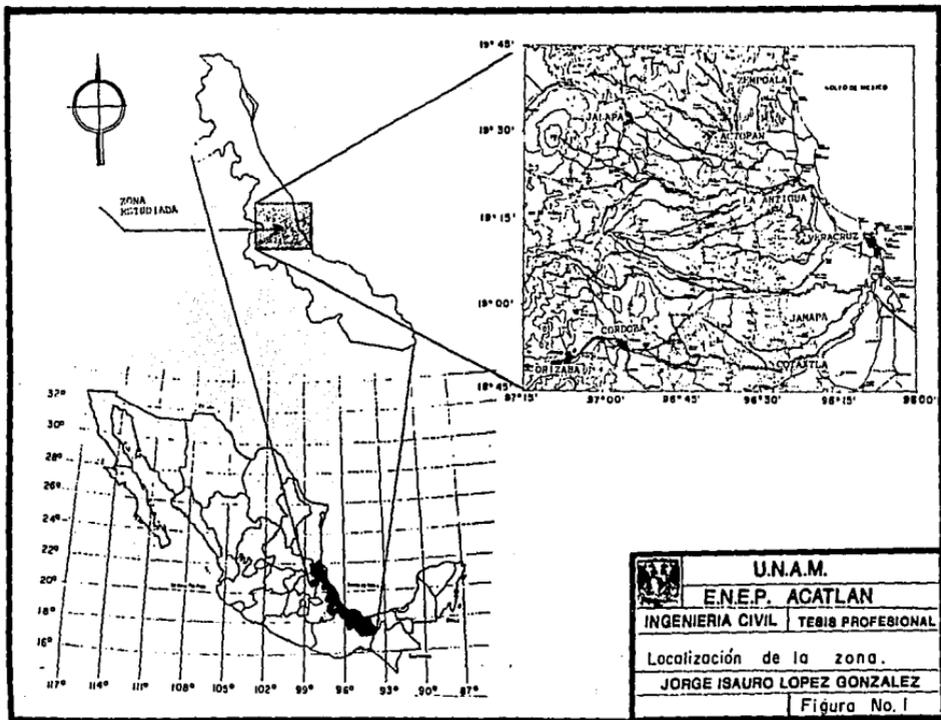
La zona de estudio se localiza en la porción central del Estado de Veracruz, comprendida entre las cuencas de los ríos Actopan-La Antigua-Jamapa-Cotaxtla, pertenecientes a la región hidrológica No.28 del río Papaloapan, esta limitada por las coordenadas geográficas correspondientes entre los paralelos 18°45' y 19°45' latitud norte y los meridianos 96°00' y 97°15' longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 9435 km² con altitudes promedio que varían desde el nivel del mar hasta los 2500 metros sobre el nivel del mar (msnm), aproximadamente.

Limitada: al norte por la sierra Chichimecas, al sur por la sierra Zongolica, al oeste se encuentra el estado de Puebla y al este, el Golfo de México, (figura No.1).

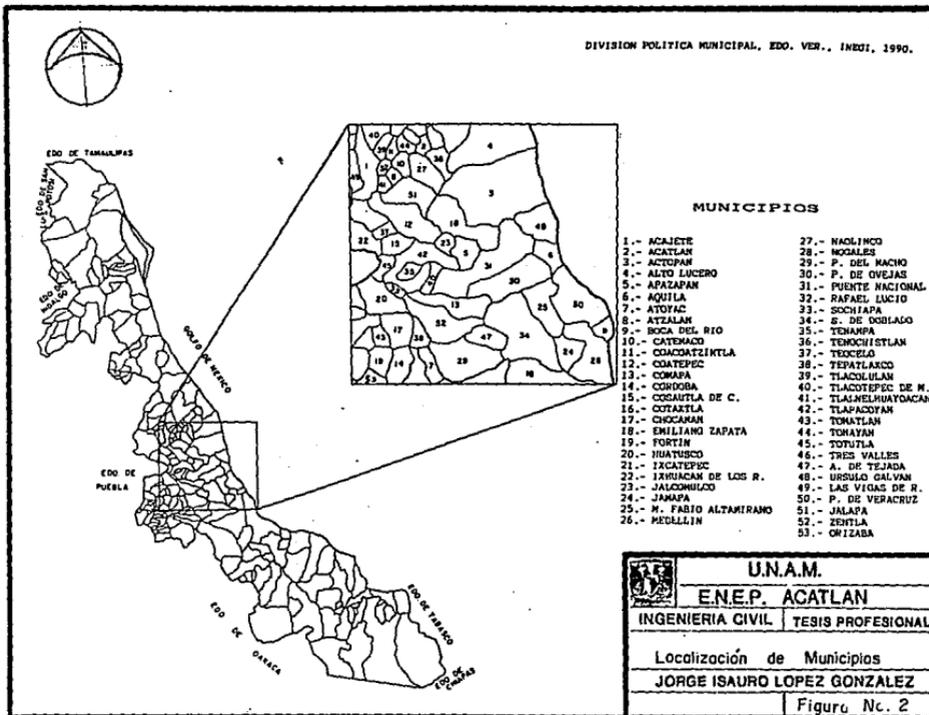
POBLACION

La zona cuenta con 53 municipios principales, que según los datos del INEGI, 1990, el número de habitantes es de 1'925 453, en los que sobresalen los municipios de Córdoba, Cotaxtla, Soledad de doblado, Boca del Río, Puerto de Veracruz, Ursulo Galván, Orizaba y Jalapa. otros municipios de menor importancia son: Actopan Coatepec, Emiliano Zapata, Huatusco, Medellín, Jalcomulco, Totutla, (tabla No.1).

La población de los municipios más importantes representa el 29%, que significa casi una tercera parte del total de los habitantes del estado de Veracruz; en esta porción central se presenta mayor densidad con relación a la extensión de la superficie total, y su localización se encuentra referida en la figura No.2.



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
Localización de la zona.	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 1	



1	ACAJETE	5434	5642	6184
2	ACATLAN	1962	2369	2416
3	ACTOPAN	26806	37318	40455
4	ALTO LUCERO	20575	25822	26889
5	APAZAPAN	2547	3483	3605
6	AQUILA	1027	1424	1441
7	ATOYAC	18720	21889	22146
8	ATZALAN	32311	45287	45818
9	BOCA DEL RIO	22962	61883	143844
10	CATEMACO	31720	38947	40434
11	COACOATZINTLA	3075	4564	5341
12	COATEPEC	35969	50631	51647
13	COMAPA	9740	11738	14885
14	CORDOBA	93285	126179	150428
15	COSAUTLAN DE CARVAJAL	8010	10806	13587
16	COTAXTLA	11485	16420	16583
17	CHOCAMAN	6232	7840	12578
18	EMILIANO ZAPATA	22235	31565	36319
19	FORTIN	21658	29897	36877
20	HUATUSCO	20352	28883	38251
21	IXCATEPEC	10423	11097	12463
22	IXHUACAN DE LOS REYES	5511	7526	8514
23	JALCOMULCO	2785	4025	4097
24	JAMAPA	6492	9935	9146
25	MANLIO FABIO ALTAMBAÑO	15270	19982	19259
26	MEDELLIN	18637	25436	29322
27	NAOLINCO	9848	13428	15553
28	NOGALES	16320	21740	27409
29	PASO DEL MACHO	11623	13182	23064
30	PASO DE OVEJAS	19129	26946	28687
31	PUENTE NACIONAL	39276	13443	11214
32	RAFAEL LUCIO	2972	3620	4283
33	SOCHIAPA	1240	2211	2571
34	SOLEDAD DE DOBLADO	19566	26363	26568
35	TENAMPA	2932	3364	5023
36	TENOCHISTLAN	4459	6438	5622
37	TEOCELO	7944	12437	13027
38	TEPATLAXCO	5430	5942	6826
39	TLACOLULAN	6790	9522	7548
40	TLACOTEPEC DE MEJIA	1974	2902	3153
41	TLALNELHUAYOACAN	4982	5447	6965
42	TAPACOYAN	26697	37735	45407
43	TOMATLAN	3740	5021	5528
44	TOMAYAN	3678	3937	4105
45	TOTUTLAN	7592	10566	13238
46	TRES VALLES	27123	36540	42531
47	ADALBERTO DE TEJADA	3829	5404	5745
48	URSULO GALVAN	17041	23633	27426
49	VIGAS DE RAMIREZ	7341	23633	27426
50	PUERTO DE VERACRUZ	230220	305456	327522
51	JALAPA	130380	212769	288331
52	ZENTLA	7624	10146	11766
53	ORIZABA	78524	109382	146384
	T O T A L	1153497	1591795	1925453

HABITANTES POR MUNICIPIO EN LA ZONA DE ESTUDIO, INEGI

TABLA No.1

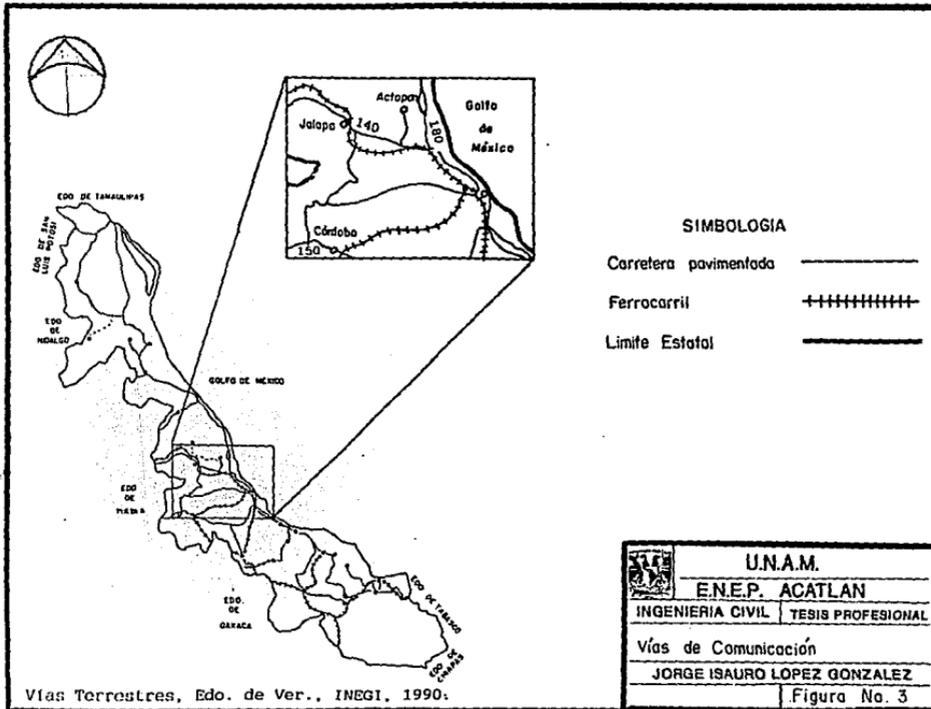
1.4. VIAS DE COMUNICACION

La zona cuenta con importantes vías de comunicación como la carretera federal N° 150 que comunica a las poblaciones de Orizaba, Córdoba, Boca del Río, hasta llegar al puerto de Veracruz. La carretera federal, N° 140 comunica los poblados de Perote, Jalapa, Cardel, llegando al puerto de Veracruz. Ambas carreteras cruzan la zona en dirección oriente.

La carretera federal N° 180 tiene dirección del norte al sur pasando por la línea costera en los poblados de Zempoala, Cardel, Puerto de Veracruz, hasta el entronque con la carretera federal N° 150 en el poblado de Boca del Río.

Además, cuenta con el ferrocarril México-Veracruz que entra por el noroeste, en la colindancia con el estado de Puebla y pasa por los municipios de las Vigas, Jalapa, Emiliano Zapata, Cardel y puerto de Veracruz, donde sigue su curso en dirección oriente y hace entronque con otra línea férrea que, inicialmente, tiene una trayectoria de sur a norte llegando a Orizaba, para después dirigirse al oriente, pasando por Córdoba, Soledad de doblado y Puerto de Veracruz, y ya en la parte costera entronca a un tercera línea que se dirige hacia el sureste pasando por Medellín y a un costado de la laguna Mandinga (figura N° 3).

Por otro lado, existe un aeropuerto internacional cerca del puerto de Veracruz, que tiene una vía de acceso principal la carretera federal N° 140, y una aeropista nacional cerca de Córdoba, a la que se puede llegar por medio de la carretera federal N° 150.



1.5. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Es importante señalar que la actividad económica de la zona de estudio a nivel nacional, es la explotación de sus recursos no renovables y aporta el 66% de la producción nacional del petróleo crudo y gas natural, así como grandes cantidades de azufre.

La economía de la región esta basada principalmente en:

La agricultura de temporal como el maíz, frijol, chile, jitomate, sorgo, arroz, trigo, etc., se cultivan por periodos cortos y están sujetos al volumen de agua que se les proporcione; existe otro tipo de cultivo que permanece durante casi todo el año, como son la caña de azúcar, el café, el aguacate, cítricos y algunos otros frutos, la mayor parte del cultivo es auxiliado mediante riego a partir de la derivación de aguas superficiales. Dos de los mejores cultivos son de caña de azúcar y el café, los cuales representan grandes rendimientos en el país.

La industria ha tenido un desarrollo acelerado en las últimas décadas y las más importantes son la maderera, textil, azucarera, de fertilizantes y la petroquímica. Se encuentra dentro de la zona, la planta nucleoelectrica Laguna Verde, localizada al nor-este, en la costa.

La pesca que se practica, en la zona, es muy variada tanto en agua dulce como en agua salada, obteniéndose pescados, crustáceos y moluscos, que son de gran importancia para el país, ya que estos productos son transportados a diferentes estados de la nación, así como exportados a otros países.

El turismo es otra fuente de ingresos a la zona de muy poco rendimiento, aunque cuenta con playas en su extenso litoral, es poco visitado por el turista, tanto extranjero como nacional, aunque de mayor importancia es el puerto de Veracruz que tiene un movimiento de carga marina internacional, cuenta también con una zona arqueológica, localizada en la porción costera del municipio de Zempoala.

En la ganadería destaca el ganado bovino, porcino, ovino y caprino, que abastece de carne a la región y se distribuye a otros estados del país.

En la zona de estudio la población para 1990, asciende a 1'925 453 habitantes con una densidad de 189 habitantes por kilómetro cuadrado (km²), de los cuales el 47.1% viven en centros urbanos y el 52.9% vive en el medio rural.

Por otra parte, el 26.2% de la población total es económicamente activa, de los cuales el 14.2 % se dedica a actividades en la industria y el 7.9% a actividades de servicios y el 4.1%, su actividad esta canalizada a la agricultura.

1.6. METODOLOGIA

Con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua, es posible recopilar y analizar información, de la zona geohidrológica, proveniente de estudios preexistentes, en base a esto, se conocen las características, geológicas, hidráulicas e hidrogeoquímicas.

También se obtiene información de los censos, en los pozos localizados en la zona, para evaluar una piezometría, esto es, el nivel en que se encuentra el agua a cierta profundidad y la variación que se obtiene con el tiempo.

Con estos datos se puede dar seguimiento a las actividades de gabinete y campo.

1.6.1. ACTIVIDADES DE GABINETE

Se inicio con la recopilación y análisis de la información de estudios preexistentes de la zona geohidrológica, los datos se obtuvieron de dependencias, institutos y universidades, como: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), Instituto Politécnico Nacional (I.P.N.), Instituto de Geología de la U.N.A.M.

Para delimitar el área se contó con el apoyo de las cartas topográficas de INEGI, con una escala de 1 : 250 000, se delimitó el área estudiada, que servirá para la realización posterior de otros planos: geológico, geohidrológico, localización de aprovechamientos, sólidos totales disueltos, igual contenido de diferentes iones, profundidad del nivel estático, elevación y evolución del nivel estático.

Con los datos obtenidos de las estaciones climatológicas encontradas en los boletines de la S.A.R.H., se llevaron a cabo las tablas de: precipitación, evaporación, temperatura promedio mensuales y anuales. Posteriormente, por medio de los datos, se elaboraron las gráficas correspondientes para cada una de las estaciones climatológicas.

Con los análisis químicos de las muestras de agua se procesaron y representaron los diagramas de Piper y Wilcox para conocer las familias de agua y la calidad de la misma para su uso. Los resultados fueron vaciados en el plano base para poder trazar líneas de valor igual (isolíneas), de los diferentes iones contenidos en el agua y conocer su distribución espacial y su origen.

En base a la información obtenida de los niveles estáticos se trazaron las curvas de igual profundidad al nivel, así como la elevación y evolución del nivel estático.

1.6.2. ACTIVIDADES DE CAMPO

Se llevo a cabo el reconocimiento del área de estudio en forma general definiendo sus límites, las condiciones geológicas y topográficas.

La lectura de los niveles estáticos se tomo por medio de una sonda eléctrica, la cual se introduce en los pozos con el fin de conocer la posición de los niveles piezométricos de cada zona geohidrológica.

Se realizó el muestreo del agua subterránea, llenando un recipiente de polietileno con tapa de capacidad de 1 litro, sin dejar aire dentro, para obtener un mejor resultado en el olor, color, sabor, la temperatura, conductividad eléctrica y posteriormente en el laboratorio de la gerencia estatal practicar los análisis físico-químicos y así determinar la dureza total, la resistividad, ph, contenido de sólidos totales disueltos y iones contenidos en el agua.

El volumen de extracción de agua subterránea fue recabado gracias al apoyo de la gerencia estatal de Veracruz, para los diferentes usos: Agrícola, Publico-Urbano e Industrial de la zona.

2.- CLIMA Y VEGETACION

En este segundo capitulo se consideran las condiciones del medio ambiente, para obtener una relación exacta del clima (precipitación, evaporación y temperatura) y determinar la interrelación del subsuelo con la superficie terrestre para cerrar el ciclo hidrológico.

2.1. CLIMA

De acuerdo con el criterio de clasificación de W Köeppen y modificado por Enriqueta García, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, se distinguen los siguientes tipos de clima:

- a) Es tropical lluvioso cálido, subhúmedo con lluvias en verano, en la parte costera, principalmente en los municipios del puerto de Veracruz, Boca del Río, Paso del Toro y Mandinga, con una precipitación promedio anual de 1802 mm; el clima se convierte más cálido, hacia el norte siguiendo la línea costera, en las estaciones de Zempoala y Cardel, donde asciende la temperatura promedio anual, hasta los 26.2 °C.
- b) En Actopan y la Antigua impera el clima cálido húmedo con variantes de cálido subhúmedo y seco, con lluvias en verano, siendo la variante, la estación Actopan que presenta una precipitación promedio anual de 897 mm y asciende la temperatura con un valor promedio anual de 24.7 °C, dando como resultado una mayor evaporación y transpiración del lugar.
- c) Por otro lado es árido-semiseco, intermedio en cuanto a humedad, con pocas lluvias y se presenta al poniente de la estación climatológica Jalapa cerca de Perote, con una precipitación promedio anual de 1432 mm y una temperatura promedio anual de 20° C.
- d) Hacia el suroeste cerca del pico de Orizaba se presenta un clima semi-frío subhúmedo con lluvias en verano, desciende la temperatura en la estación de las vigas con un valor promedio anual de 11 °C y una precipitación promedio anual de 1578 mm.

La región se encuentra afectada por trayectorias de masas de aire polar llamadas "nortes" que se presentan generalmente entre los meses de diciembre y enero; esto ocasiona la

llegada de ciclones con velocidades de viento muy elevadas y lluvias torrenciales, que afectan el régimen de precipitación media anual.

Se elaboró la configuración de isoyetas mostrado en el plano N° 1, con valores de la precipitación promedio anual de cada estación analizada, y con el apoyo del boletín hidrológico N° 43, en un periodo que abarca desde 1862 hasta 1982, donde se indican valores altos de precipitación, por encima de los 2000 mm en los municipios de Teocelo, Huatusco, Ixhuacán y Córdoba, primordialmente; las precipitaciones descienden hacia el poniente, cerca del límite con el estado de Puebla. Existe otra área con precipitaciones entre los 800 y 900 mm, en los municipios Tierra Colorada, Rinconada, los Naranjos, Paso de Ovejas; en el puerto de Veracruz se tienen precipitaciones mayores de 1600 mm.

La lámina de precipitación media en la zona es de 1584 mm resultado obtenido de las cuencas correspondiente, por el método de curvas de igual precipitación o isoyetas, que representan un volumen de lluvia de 14 949 Mm³ por año (tabla N° 2).

Existen 11 estaciones climatológicas distribuidas en el área, con un periodo que abarca desde 1962 hasta 1982; del boletín climatológico N° 43 de la S.A.R.H., se obtuvieron los datos de precipitación, evaporación potencial y temperatura, que se mencionan a continuación.

2.1.1. VEGETACION

La vegetación es abundante casi en toda la zona, tiene superficies extensas de bosques, principalmente en los municipios de Coatepec, Fortín, La Antigua, Veracruz, encontrándose diferentes tipos de árboles como: el pino, oyamel, encino y maderas preciosas. La agricultura es predominante en esta región tanto de humedad como tropical, y abarca un 45% del área de interés; existen también; pastizales que sirven de alimento a la ganadería.

La raíz de este tipo de árboles y vegetales no sobrepasa una profundidad de 10 metros, por lo que se podrá evaluar una evotranspiración.

2.2 PRECIPITACION

De acuerdo a los datos recabados de lluvia, el valor promedio anual es de 1326 mm. En la estación del puerto de Veracruz se presenta un valor promedio de 1578 mm; la estación de menor precipitación es la estación Loma Fina, con una precipitación promedio anual de 865 mm. El valor más alto se presentó en el año de 1966 con 2576 mm, registrado en la estación Teocelo. Cada una de las estaciones climatológicas de que se hace mención están ubicadas en la figura N° 4, y se presentan los valores promedio anual de cada estación en la tabla N° 3.

En los registros mensuales consignados en la Tabla N° 4, el valor promedio mensual de la zona es de 108.7 mm, y se presentan los valores más altos de lluvia en la parte montañosa, en las estaciones Teocelo con 173.3 mm y Coscomatepec con 131.6 mm, los meses que registran valores de mayor precipitación pluvial son de junio a septiembre, y donde es menos intensa la lluvia es hacia el centro, en las estaciones de Soledad de Doblado, con 80.4 mm y Loma fina, con 72.1 mm, siendo la época de estiaje de noviembre a abril, mientras que los meses de julio a octubre son los más lluviosos, como se observan en las gráficas de barras para las estaciones mas representativas (Fig. 5, 6, 7, y 8).

2.3 TEMPERATURA

Se obtiene una temperatura promedio anual de 22.4 °C que representa el valor que predomina en la zona, los valores de temperatura promedio se presentan en la tabla N° 5. La temperatura asciende en la costa, principalmente, en las estaciones climatológicas de, Capulines con 25.9 °C, Soledad de Doblado con 26 °C, Cardel con 25.5 °C y Zempoala con un valor de 26.0 °C, y disminuye la temperatura hacia el poniente en la zona montañosa, con una temperatura promedio anual de 11.6 °C, aunque en el pico de Orizaba, se presentan temperaturas extremosas del orden de -5 °C.

En la tabla N° 6, se presentan los valores de la temperatura promedio mensual, con un valor promedio de 22.4 °C, que representa la temperatura promedio de esta zona, los meses más calurosos son de abril a octubre, donde se tienen temperaturas promedio, en las estaciones de Capulines y Soledad de Doblado con 25.9 °C y 26 °C, respectivamente. La temperatura disminuye hacia el poniente, como es el caso de las estaciones Las Vigas y Coscomatepec con 11.6 °C y 17.7 °C; los meses con valores de menor índice de temperatura de noviembre a marzo.

2.4 EVAPORACION POTENCIAL

La evaporación potencial se produce por el incremento de la temperatura, sin menospreciar la velocidad del viento y la presión de vapor del agua, generalmente en las superficies expuestas a la precipitación pluvial, como los cuepos de agua, calles pavimentadas y superficies de suelo saturado, provocando que el agua pase del estado líquido al estado gaseoso.

Los datos de la evaporación potencial son medidos por evaporímetros en las estaciones climatológicas, de los cuales se obtiene la información que se ha procesado en la tabla N° 7.

La evaporación potencial promedio tiene un valor de 1128 mm/año; las lecturas con menor evaporación potencial se presentan en las estaciones de Soledad de Doblado y Jalapa con 819 y 1064 mm anuales, respectivamente. Se incrementa en las estaciones de Zempoala, Actopan y puerto de Veracruz con 1591, 1629 y 1850 mm anuales.

La evaporación promedio mensual tiene un valor de 110.6 mm/año, pero los meses que sobrepasan este promedio son de abril a agosto, puesto que se incrementa la temperatura y la precipitación pluvial, en las estaciones de Actopan, Coscomatepec y Veracruz con 135.8, 161.2 y 154.2 mm; los meses que presentan menor índice son de noviembre a febrero como se muestra en la tabla N° 8.

CUENCA	AREA Km ²	LAMINA mm	VOLUMEN EN MILLONES DE m ³
RIO ACTOPAN	2 046	1 300	2 352
RIO LA ANTIGUA	3 648	1 600	5 234
RIO JAMAPA	1 883	1 700	2 744
RIO COTAXTLA	1 858	1 750	2 976
TOTAL	9 435	1 584	13 306

LAMINA Y VOLUMEN DE LLUVIA

TABLA No.2

PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL EN (mm)
(1962 - 1982)

ESTACION	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	PROM
ACTOPAN	1097	891	773	795	966	830	899	999	871	757	1089	911	1186	748	853	562	716	870	851	1068	546	897
CAPULINES	1069	1169	842	1379	1436	1338	1312	1341	1030	1202	1560	1536	1426	1203	928	743	1294	1078	1327	1846	975	1,224
CARDEL	1476	1117	1069	1408	1351	1185	1123	1566	1177	1271	1549	1480	1755	1081	1042	907	1377	1134	1140	1484	1073	1,284
COSCOMATEPEC	1548	1889	1567	2266	1835	1402	1501	1749	1180	957	1379	1260	1545	1883	2254	1661	1467	1467	1405	1554	1214	1,578
JALAPA	1344	1162	1141	1315	1228	1275	1260	1534	1199	1688	1680	1568	1450	1407	1327	1197	1305	1877	1400	1690	1432	1,432
LAS VIGAS	769	866	932	921	1161	1080	858	1251	995	902	1146	924	1112	970	971	549	1048	1414	1218	1523	1206	1,198
LOMA FINA	753	644	642	818	889	678	833	1310	840	823	1012	864	1044	675	673	503	842	784	1210	1330	775	865
SOLEDAD DE DOBLADO	1185	870	1012	1075	916	904	827	971	657	752	1324	1280	1171	1062	593	675	1045	820	1115	1337	662	1,040
TEOCELO	2009	1752	1977	1861	2576	1843	2149	1849	2111	1895	2040	2247	2022	1797	2050	1736	2253	2076	2121	2501	1502	2,102
VERACRUZ	1749	1622	1415	1695	1568	1619	1534	2286	1607	2092	2269	1686	1706	1707	1205	1365	1912	1674	1903	2541	1823	1,802
ZEMPOALA	1018	1088	860	1028	1293	1171	1038	1485	1210	1087	1505	1206	1674	1099	1006	943	1211	1126	1052	1391	1366	1,165

PROM. ANUAL DE LA ZONA 1328 mm

TABLA No. 3

PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (mm)
(1962 - 1982)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
ACTOPAN	11.3	11.8	9.4	13.1	34.2	189.2	229.5	145.9	164.2	57.5	18.9	12.7	74.8
CAPULINES	11.5	10.8	9.2	8.9	48.4	234.1	300.5	234.5	232.2	91	27.6	14.8	102.0
CARDEL	10	14.2	9.7	10.7	53	257.8	302.6	240.3	232.8	82.1	41	13.4	105.6
OSCOMATEPEC	33.3	35.4	33.9	62.5	108	290.4	278.3	246.8	263.1	100.6	58	38.4	131.6
JALAPÁ	41.2	42.3	47.2	59.6	101	287.3	217	164.2	249.6	116.5	80.1	46.2	119.4
LAS VIGAS	32.9	28.2	30.5	35.5	55.4	161.8	155.3	138.2	292.4	178	87.6	44.2	103.2
LOMA FINA	8.6	7	6.6	11.3	31.7	166	223.8	187.6	140	56.5	18.3	7.9	72.1
SOLEDAD DE DOBLADO	14.1	9.5	8.6	11.4	50	183.2	218.2	172	186.5	74.7	23	13.5	80.4
TEOCELO	53.6	52.8	65.5	70.6	160.2	393.2	314.2	271.9	365.1	191.9	89.2	51.8	173.3
VERACRUZ	22.5	15.3	13.7	20.5	57.3	280.6	370.2	306.5	355	101.9	71.5	26.7	136.8
ZEMPOALA	11.2	13.5	12.6	8.4	32.1	244.1	279.3	223	214.3	82.2	30.1	14.1	97.1
PROMEDIO MENSUAL	22.7	21.9	22.4	28.4	66.5	244.3	282.6	211.9	245.0	105.5	47.8	25.8	106.7

TABLA No.4

TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN °C
(1962 - 1982)

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
ACTOPAN	21.1	21.8	24	26.1	27.4	27.2	26.1	26.3	26.2	25.2	23.4	21.8	24.7
CAPULINES	22.2	22.8	25.4	28	29.3	28.6	27.3	27.5	27.2	26	24	22.6	25.9
CARDEL	21.6	22.2	24.5	26.9	28.3	28.1	27.2	27.3	27.2	26	24.1	22.2	25.5
COSCOMATEPEC	15	15.2	17.7	19.2	19.8	19.3	19.1	19	18.6	17.5	16.3	15.5	17.7
JALAPA	15.8	16.5	19	21.1	22	21.2	20.3	20.7	20.6	19.4	17.8	16.4	19.2
LAS VIGAS	8.5	9.7	12	13.7	14.2	13.6	12.9	12.6	12.4	11	9.8	8.7	11.6
LOMA FINA	20	21.7	24.7	27.1	28.4	28.1	26.9	27.3	27.1	25.6	23.6	21.8	25.2
SOLEDAD DE DOBLADO	22.6	23.3	25.6	27.9	29	28.6	27.4	27.4	27.1	26.3	24.2	22.8	26.0
TEOCELO	15.9	16.6	19.4	21.3	22.1	21.4	20.5	21	20.6	19.4	17.7	16.4	19.4
VERACRUZ	21.5	21.9	23.4	25.5	27.3	27.7	27.6	27.6	27.3	26.4	24.2	22.4	25.3
ZEMPOALA	22.3	22.9	25	27.3	28.8	28.8	27.9	28.1	27.9	26.9	25	23.2	26.2
PROMEDIO MENSUAL	18.8	19.5	21.9	24.0	25.1	24.6	23.9	24.1	23.8	22.7	20.9	19.4	22.4

TABLA No 5

TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL EN °C
(1962 - 1982)

ESTACION	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	PROM
ACTOPAN	24.9	24.6	25	25	24.5	24.6	24.6	25.9	24.2	24.7	25.3	24.7	24.5	24.5	24.2	24.5	24.4	24.7	24.7	24.7	25.3	25
CAPULINES	25.4	25.3	26.2	25.9	25.9	25.78	26	25.8	26.6	26.4	26.1	25.7	26.4	25.5	26.3	25.6	25.9	25.5	26	25.2	26.2	26
CARDEL	25.8	25.3	25.4	25.3	25.1	25	25	24.9	25.7	26.2	25.7	25.8	26	26	25.2	25.8	25.6	25.5	25.8	25.9	26	26
COSCOMATEPEC	17.6	17.4	18.8	17.5	14.2	14.6	15	15.1	16	17	20.7	18.9	18.4	21.1	20.8	17.5	17	17.4	18.6	17.9	20.1	18
JALAPA	19	19	19.2	19.2	18.5	18.8	18.8	19.2	18.8	20.1	20.4	19.9	19.7	19.8	19.4	20.3	19.8	19.9	19.4	19.2	19.2	19
LAS VIGAS	11.8	11.2	11.7	11.7	11.2	11.3	11.4	13.1	11.5	11.7	11.8	11.8	11.4	11.6	11	11.9	12.3	12.7	12.4	11.6	12.3	12
LOMA FINA	25.7	25.1	25.1	24.9	24.7	25.87	24.8	25.8	24.5	25.6	26	25.5	25.4	25.8	25	25.6	25.4	25.1	25.5	25.1	26.1	25
SOLEDAD DE DOBLADO	26	26	25.8	25.7	25.2	25.6	24.8	25.6	25	25.9	26	25.1	25	25.9	25.5	25.4	25.3	25.5	25.5	25.5	26.4	26
TEOCELO	19.2	19.2	19.2	19.2	18.2	18.8	18.6	18.9	18.7	19.8	19.7	19.4	19.3	20.1	18.8	19.5	19.2	19.4	20.2	19.2	20.6	19
VERACRUZ	25.8	25.5	25.6	25.6	25	25.4	25.3	26	25.1	25.9	26.2	25.5	25.5	25.6	24.7	25.1	25	24.8	25.1	25.4	25.5	25
ZEMPOALA	26.3	25.6	26.8	26.7	25.7	25.8	25.8	25.9	25.7	26.4	26.9	26.5	26.2	26.8	25.8	26.4	26.3	26.3	216.4	26.6	26.8	26

PROM. ANUAL DE LA ZONA 22.4° C

TABLA No. 6

EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO ANUAL EN (mm)
(1962 - 1982)

ESTACION	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	PROM
ACTOPAN	1973	1589	16678	1501	1746	1695	1580	1530	1663	18707	1744	1644	1703	1733	1067	1670	1507	1522	1519	1478	1573	1,629
CAPULINES	1471	1443	1369	1426	1447	1368	1292	1318	1492	1335	1284	1259	1297	1281	1346	1378	1514	1407	1518	1541	1637	1,416
CARDEL	1543	1439	1631	1438	1401	1453	1439	1484	1479	1465	1475	1471	1505	1544	1461	1441	1406	1547	1601	1683	1648	1,538
COSCOMATEPEC	1154	1120	1130	1040	835	909	843	805	821	967	1007	1093	1102	1004	1352	1378	1346	1142	1120	1118	1269	1,068
JALAPA	1226	1041	1100	1047	1003	1104	1039	1047	1103	1140	1117	1136	1123	1180	871	885	932	971	1252	1299	1203	1,064
LOMA FINA	1634	1546	1356	1359	1235	1285	1219	1278	1344	1565	1512	1452	1525	1460	1459	1540	1397	1409	1578	1549	1737	1,440
SOLEDAD DE DOBLADO	742	824	925	672	942	934	856	861	702	723	873	894	912	921	703	933	914	895	785	691	698	819
VERACRUZ	1630	1628	1620	1705	1835	1887	1807	1699	1784	1874	1836	1741	1643	1626	1889	1805	1919	2059	2066	1816	1914	1,850
ZEMPOALA	1573	1563	1589	1648	1583	1623	1542	1418	1675	1736	1648	1576	1656	1673	1686	1668	1567	1532	1530	1412	1505	1,591

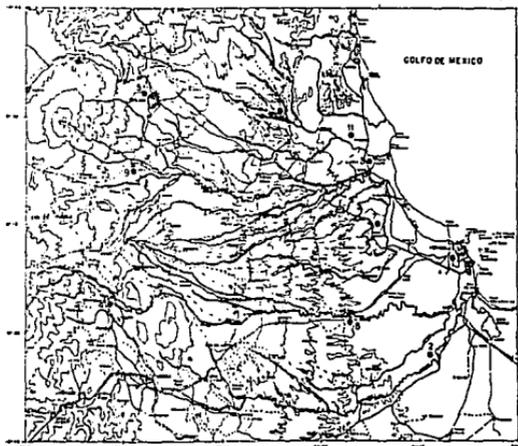
PROM. ANUAL DE LA ZONA 1128 mm

TABLA No. 7

**EVAPORACION POTENCIAL PROMEDIO MENSUAL EN (mm)
(1962 - 1982)**

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM.
ACTOPAN	100.4	108.2	155	174.4	180.2	184	144.5	146.2	128.9	125.7	108.2	95.4	135.8
CAPULINES	81.1	95.5	138.4	163.4	167.5	147.9	128.8	129	108.9	98.1	82.3	74.3	124.8
CARDEL	94.3	106.5	139.5	153.7	184.8	157.5	141.2	145.2	128.1	123.1	97.5	86.9	128.2
COSCOMATEPEC	71.4	73.8	97.2	184.1	105.5	103	92.1	108.6	69.2	84.9	72.2	68	161.2
JALAPA	58.2	70.9	96.4	109.8	113.1	103.9	104.7	102.6	94	78.9	67.8	67.5	98.1
LAS VIGAS	52.7	68.4	73.5	142.1	105.3	113.8	102.7	142.5	69.7	64.9	71	70.5	89.8
LOMA FINA	88.5	100.9	139	154.4	159	139.4	120.8	128.7	113.9	113.5	96.4	87.8	120.0
SOLEDAD DE DOBLADO	64	61.4	78.9	75.1	80	67.4	69.5	70.9	67.4	68.4	59.7	61	68.3
TEOCELO	67.5	77	12.8	107.2	119.7	119.8	135.5	121.1	111.7	119.5	78.7	75.2	95.5
VERACRUZ	124.5	129.5	158.8	163.2	159.1	167.8	163.4	170.5	167.3	169.5	146.8	130.2	154.2
ZEMPOALA	71.4	73.8	97.2	104.1	105.2	103	92.1	106.6	89.2	84.9	72.2	68	69.0
PROMEDIO													
MENSUAL	79.3	87.8	107.7	139.2	132.7	126.1	117.8	124.4	106.2	102.5	86.4	80.4	110.6

TABLE No.8



ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

- 1.- ACTOPAN
- 2.- CAPULINES
- 3.- CARDEL
- 4.- COSCOMATEPEC
- 5.- JALAPA
- 6.- LAS VIGAS
- 7.- LOMA FINA
- 8.- SOLEDAD DE DOBLADO
- 9.- TECELO
- 10.- VERACRUZ
- 11.- ZENPDALA



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

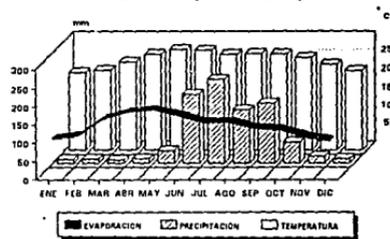
INGENIERIA CIVIL TESIS PROFESIONAL

Localización de estaciones Climatológicas

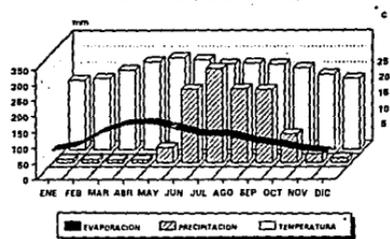
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ

Figura No. 4

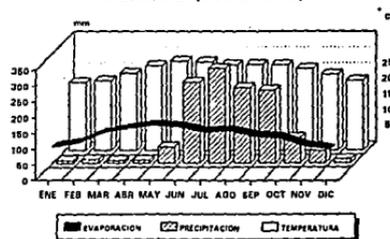
ESTACION ACTOPAN
PERIODO (1962-1982)



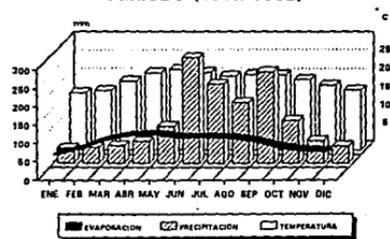
ESTACION CAPULINES
PERIODO (1962-1982)



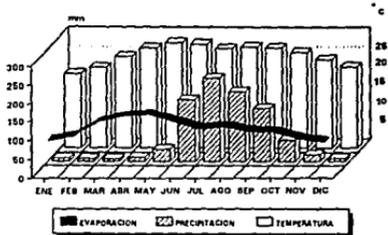
ESTACION CARDEL
PERIODO (1962-1982)



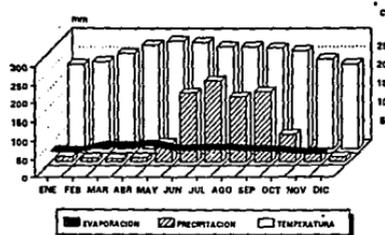
ESTACION XALAPA
PERIODO (1962-1982)



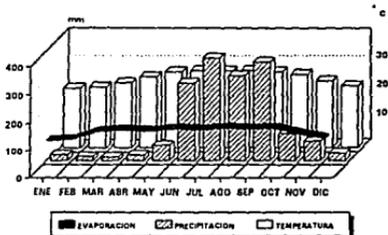
ESTACION LOMA FINA
PERIODO (1962-1982)



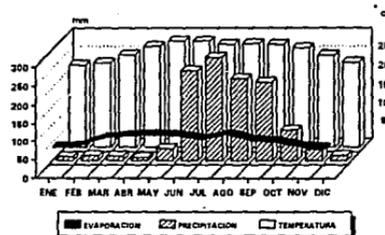
ESTACION S. DE DOBLADO
PERIODO (1962-1982)



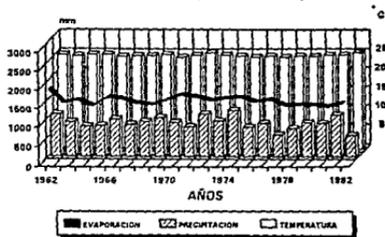
ESTACION VERACRUZ
PERIODO (1962-1982)



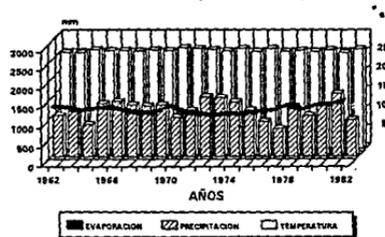
ESTACION ZEMPOALA
PERIODO (1962-1982)



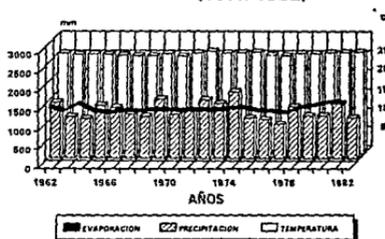
ESTACION ACTOPAN
PERIODO (1962-1982)



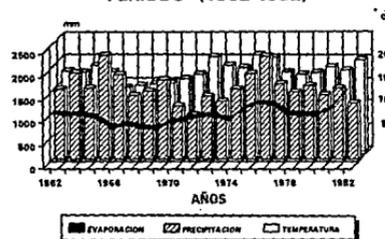
ESTACION CAPULINES
PERIODO (1962-1982)



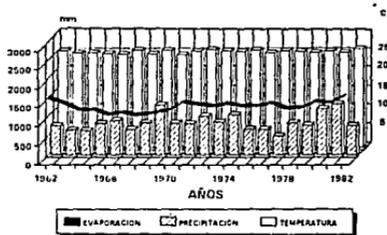
ESTACION CARDEL
PERIODO (1962-1982)



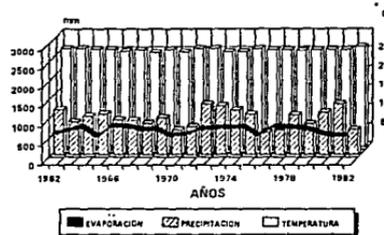
ESTACION COSCOMATEPEC
PERIODO (1962-1982)



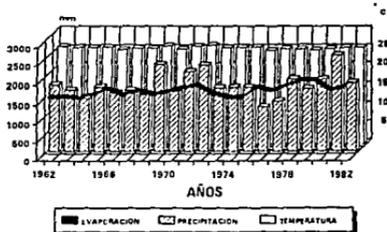
ESTACION LOMA FINA
PERIODO (1962-1982)



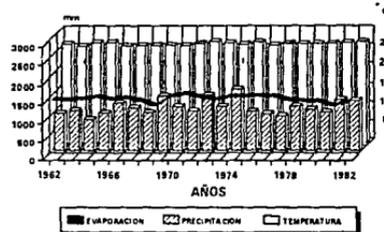
ESTACION S. DE DOBLADO
PERIODO (1962-1982)



ESTACION VERACRUZ
PERIODO (1962-1982)



ESTACION ZEMPOALA
PERIODO (1962-1982)



3.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL

La Hidrología superficial es un apartado importante, en el estudio del agua subterránea, ya que de las condiciones que prevalezcan en el medio, se obtendrán escurrimientos superficiales e infiltraciones hacia los depósitos subterráneos de esta forma se pondrá énfasis en los escurrimientos y el uso que se obtenga del agua.

3.1. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

La zona de estudio cuenta con una red hidrográfica que la conforman la cuenca de los ríos Actopan, la Antigua, Jamapa y Cotaxtla, Pertenecientes a la región hidrológica "Río Papaloapan" (No. 28), Figura N° 9.

RIO ACTOPAN

El río Actopan, drena una cuenca de 2046 km² aprox., originándose al norte de la ciudad de Jalapa en las estribaciones del volcán Cofre de Perote, con una elevación de 2100 m.s.n.m.; la corriente principal comienza en el terreno montañoso con dirección noroeste, donde recibe el nombre de río Cedeño, por la margen izquierda recibe el arroyo Naolinco y cambia de dirección al sureste a la altura de Tlacolulan, aguas abajo recibe por la izquierda el río Acatlán y los arroyos Chapopote y Chalcoya, conservando la dirección oriente y recibiendo el nombre del río Actopan, siguiendo su curso cruza por el poblado de Actopan y aguas abajo la presa La Esperanza y consecuente la de Santa Rosa, que alimentan a la red de canales, con volúmenes importantes del cual se derivan para el distrito de riego N° 35, río abajo de éstas obras hidráulicas por la margen derecha recibe la contribución del río Idolos, ya en la parte casi horizontal de la zona se forman meandros cerca de la población de Ursulo Galván, para desembocar finalmente en el Golfo de México.

RIO LA ANTIGUA

El río La Antigua drena una cuenca de 3648 km² aprox., nace al este del poblado de González Ortega, en el estado de Puebla, a una elevación de 2900 m.s.n.m., tiene un nombre inicial denominado río Resumidero con rumbo sureste, se presenta en terrenos montañosos y cambia de dirección noreste, hasta recibir por la margen izquierda al río

Barranca Grande, a partir de esta aportación recibe el nombre de río Pescados siguiendo el mismo rumbo, para después por la margen izquierda recibir al río de Cazalapa y algunas otras aportaciones de varias corrientes pertenecientes al volcán Cofre de Perote, su recorrido a partir de ésta zona es abrupta y de fuertes

pendientes, aguas abajo cambia su nombre por el de río La Antigua, para recibir por la margen izquierda el arroyo Tlacoyocan y más adelante al río Zacoapan conservando una dirección preferente al oriente, recibe aportaciones del río Lagartos del lado derecho antes de llegar a la derivadora La Antigua, para dar aportaciones considerables a los distritos de riego N° 35 y 67, aguas abajo ya en la topografía plana pasa cerca de la población de Cardel donde la dirección es al oriente para después dirigirse al sur y recibir a la altura del poblado de la Antigua las aportaciones del río Paso de Ovejas, y finalmente descargar sus aguas al Golfo de México. El río San Francisco se encuentra entre las cuencas de los ríos La Antigua y Jamapa, drena una cuenca de 692 km², se origina al oriente del poblado de Huatusco con una altitud de 500 m.s.n.m., se forma con la confluencia de los arroyos Paso de Canoas, Oriental y Zopilotes, conservando una dirección al oriente, en una zona topográficamente plana, con una serie de pequeñas lagunas, en la que destaca la laguna de San Julián en la cual desemboca el río San Francisco.

RIO JAMAPA

El río Jamapa se origina de los escurrimientos que drenan a su cuenca en la parte oeste, con los deshielos y lluvias que bajan del volcán Pico de Orizaba o Citlaltépetl, con una altura de 5 700 m.s.n.m.; en las faldas se encuentra la barranca de Coscomatepec, en la cual se divide el escurrimiento para formar dos ríos: el Jamapa y Cotaxtla.

El río Jamapa tiene una dirección inicial noreste y recibe el nombre del río Barranca de Coscomatepec, escurre entre barracas labradas por la corriente del río, para que aguas abajo reciba por la margen izquierda el río Paso de los Gasparines y a la altura del poblado de Teopantitla su dirección sea hacia el oriente, pasando al norte del poblado de Coscomatepec, aguas abajo se le une por la izquierda el río Xicuitla y después a la derecha el arroyo Ixcualco, ya cerca del poblado del Tejar se le une el río Cotaxtla y formar una sola corriente, recibiendo aportaciones del río Moreno y la laguna de Mandinga Grande para finalmente desembocar al Golfo de México a la altura de Boca del Río.

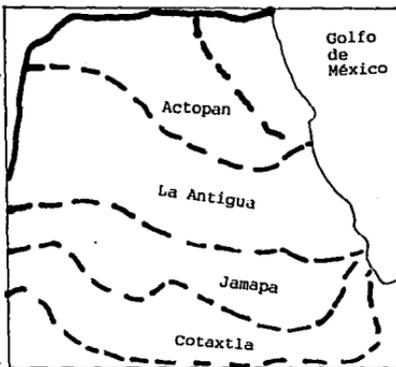


SIMBOLOGIA

REGION HIDROLOGICA N°28

CUENCA DE RIOS

- 1.- CUENCA DEL RIO ACTOPAN 2046 Km²
- 2.- CUENCA DEL RIO LA ANTIGUA 3648 Km²
- 3.- CUENCA DEL RIO JAMAPA 1883 Km²
- 4.- CUENCA DEL RIO COTAXTLA 1838 Km²



Carta hidrológica N°28 SARIH 90'

	
U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TEBIS PROFESIONAL
REGION HIDROLOGICA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 9	

RIO COTAXTLA

El río Cotaxtla recibe el nombre inicial del río Baranca de Chocaman, que tiene una dirección sur-sureste variando su curso en la población de Cuitlahuac hacia el oriente, recibiendo su principal aportación del río de Atoyac que nace a los 950 m.s.n.m., aguas arriba de la derivadora Santa Anita y aguas abajo se une el arroyo del Chiquehuite para conformar el río Atoyac y después unirse con el ahora denominado río Seco tomando una dirección al oriente, aguas abajo se une el arroyo Paso del Macho, y después cambia su dirección al noreste a la altura del poblado de Cotaxtla, recibiendo el nombre del río Cotaxtla y finalmente confluir con el río Jamapa cerca del poblado del Tejar.

3.2 USO DEL AGUA SUPERFICIAL

La disposición del agua superficial se enfoca principalmente en la agricultura, la generación eléctrica y agua potable para la ciudad de Veracruz. La red Hidrográfica de la zona en la figura N° 10.

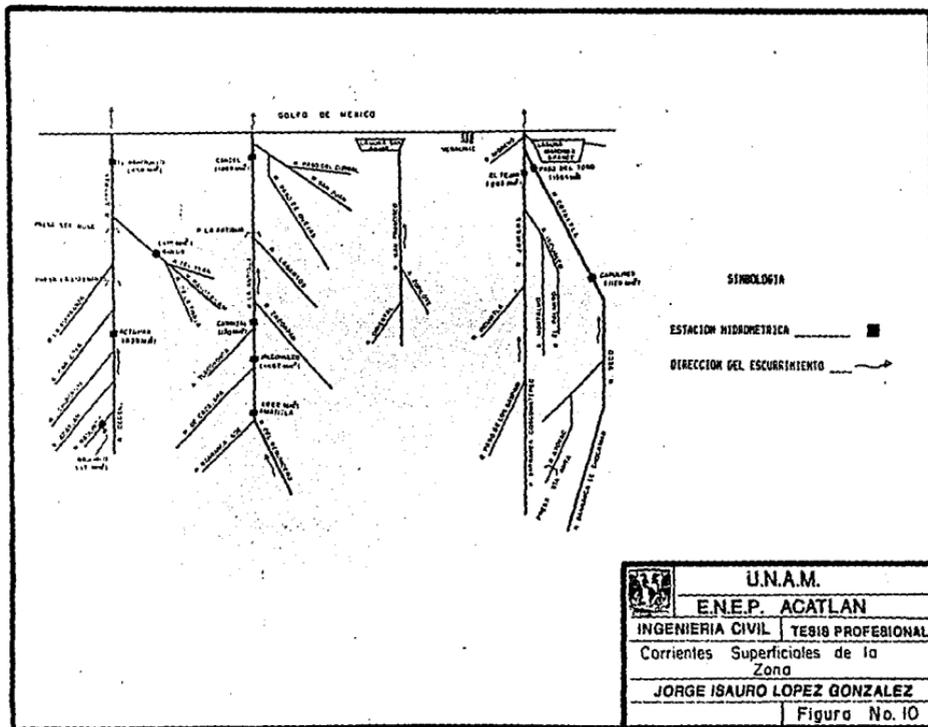
De los escurrimientos del río Actopan se canalizan importantes volúmenes de agua para el distrito de riego N° 66, mediante las presas Santa Rosa y la Esperanza con un volumen de 192.6 millones de metros cúbicos (Mm³) anuales, cubriendo una extensión de 8 161 hectáreas (has).

Del río La Antigua se suministra un gasto medio anual de 9.6 metros cúbicos por segundo (m³/seg), en la presa del mismo nombre, que equivale a 302.7 Mm³ anuales, abarcando una superficie de 6 500 has de riego.

Uno de los afluentes importantes del río Cotaxtla, se localiza en la parte alta de la cuenca denominado como el río Atoyac, cuenta con una presa derivadora de nombre Santa Anita con un volumen de 189.2 millones de metros cúbicos anuales destinados al riego en esta porción con una superficie de 8185 has.

El río Jamapa aporta caudales de 0.4 m³/seg, para la planta de tratamiento de agua potable, localizada en la margen izquierda del río cerca del poblado del Tejar, destinada para la ciudad del Puerto de Veracruz.

Parte del volumen escurrido del río, que forman la confluencia de los ríos Jamapa y Cotaxtla es para la planta termoeléctrica de Dos Bocas con una derivación de 97.8 Mm³ anuales.



3.3 BALANCE DEL AGUA SUPERFICIAL

Este balance es representado por el ciclo hidrológico ya que el volúmen de agua llovido, parte escurre en forma superficial y gran parte del restante regresa a la atmósfera por medio de la evapotranspiración, a la vez una pequeña proporción se infiltra al subsuelo recargando los acuíferos.

El volúmen de escurrimientos superficiales V_{sup} es determinado por los registros medidos en las estaciones hidrométricas en dónde se miden los caudales que pasan a través de las estaciones. Como se observa en la figura No. 10, de la red hidrográfica que integra la zona de estudio.

V_{sup} = Suma del caudal en las estaciones hidrométricas que desembocan

$$V_{sup} = 4274 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

La evapotranspiración se calculo mediante la fórmula de Turc:

$$Etr = hp^2 / (0.90 + [hp^2/L^2])^{1/2}$$

Donde:

hp = Promedio obtenido en las estaciones climatológicas

Etr = Lámina de evapotranspiración (mm/año)

hp = Lámina de precipitación promedio = 1326 mm/año

L = $300 + 25T + T^2 = 885$

T = Temperatura media anual = 25.5 °C

$$Etr = 748 \text{ mm/año}$$

Volúmen que se evapotranspira:

$$Vetr = 0.748 \text{ m/año} \times 9435 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$Vetr = 7057 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año} = 7057 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

El volúmen de infiltración (V_{inf}) se calcula siguiendo la ley de la conservación de la masa en forma somera.

$$V_{llovido} = V_{sup} - V_{etr} - V_{inf}$$

$$V_{inf} = V_{llovido} - V_{sup} - V_{etr}$$

$$V_{inf} = (14949 - 4274 - 70057) \text{ Mm}^3/\text{año}$$

$$V_{inf} = 3618 \text{ Mm}^3$$

Por lo tanto :

La zona de estudio recibe un volúmen de la lluvia de 14,949 millones de metros cúbicos anualmente de los cuales 4274 Mm^3 escurren superficialmente, 7057 Mm^3 son evapotranspirados y 3618 Mm^3 se infiltran, alimentando a los acuíferos (Tabla No. 9).

En base a esto la zona cuenta con abundantes recursos hidráulicos superficiales, pero no cuenta con la infraestructura necesaria para captar y poder aprovechar el agua que sigue su curso y escapa superficialmente al golfo de México.

LLUVIA 14,949		DISTRIBUCION DE LA LLUVIA		VOLUMEN MEDIO ANUAL
		ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL		4274
		INFILTRACION		3618
		EVAPOTRANSPIRACION		7057
APORTACIONES SUBTERRANEAS			VOLUMEN MEDIO ANUAL	
VOLUMEN DE DESCARGA POR MANANTIALES			18 Mm ³	
SALIDA Y EXTRACCIONES			VOLUMEN MEDIO ANUAL	
EVAPOTRANSPIRACION			7057	
INFILTRACION			3618	
DISPONIBILIDAD EXCEDENTE DE AGUA SUPERFICIAL			4292	

En millones de metros cubicos Mm³

TABLA No. 9

BALANCE DE AGUAS SUPERFICIALES

4.- GEOLOGIA

La Geología estudia la constitución y propiedades de los materiales que componen la tierra, así como la evolución de los diferentes suelos y rocas que existen.

4.1 FISIOGRAFIA

La región de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica de la planicie costera del Golfo de México y en los límites de la provincia del Eje Neovolcánico, así como de la provincia de la Sierra Madre Oriental, según Erwin Raisz (1964). La localización de las provincias fisiográficas se presenta en la figura N° 11.

Limitado Fisiográficamente:

- Al noroeste NW por la subprovincia de Teziutlán (de la provincia de la Sierra Madre Oriental).
- Al sureste SE la subprovincia del macizo de los Tuxtlas.
- Al suroeste SW la meseta Oaxaqueña, subprovincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur.
- Al este E con el límite litoral marino del Golfo de México.
- Al oeste W el límite con el eje Neovolcánico con sus dos representantes los volcanes, Pico de Orizaba y Cofre de Perote.

La provincia del Eje Neovolcánico esta formada por una acumulación de masa volcánica, debido a procesos eruptivos que se desarrollaron posiblemente del Terciario medio (35 millones de años atrás) hasta el reciente, se integra por las sierras volcánica, constituidas por grandes masas de lava y piroclastos. Su característica principal es la presencia de una cadena de volcanes que atraviesa al país de oeste hacia el este aproximadamente en el paralelo 19 y representan las mayores altitudes de México, como el volcán de Colima, Zinantécatl (Nevado de Toluca), Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Matlalcuéyatl (Malinche) y en particular dentro de la zona el volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), alcanzando una altura de 5610 metros sobre el nivel del mar (msnm), y el Cofre de Perote con una altura en la cima de 4250 msnm.

La provincia de la Sierra Madre Oriental, presenta un sentido paralelo a la costa del Golfo de México, se caracteriza por un conjunto de sierras, que oscilan entre los 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm), están constituidas por rocas sedimentarias del Jurásico y Cretácico donde predominan las calizas y arenicas

arcillosas. Está constituida por diversas sierras en las que destacan la Sierra de San Martín, Chicahuaxtla, Fortín y Atoyac, con una orientación noroeste-sureste.

Al noroeste de la zona de estudio y en particular al norte de Actopan, presenta un conjunto de Mesas de superficie plana y elevación entre los 500 msnm y 700 msnm.

Entre los volcanes Pico de Orizaba y cofre de Perote se localiza una cadena de Sierras, entre las cuales destacan, las Cumbres, Elotepec, Chichinatl, el palmar y la Sierra de Mazazontipa, con alturas que van desde los 2500 msnm hasta los 3500 msnm, de los ríos Jamapa y La Antigua.

La provincia de la Planicie Costera del Golfo, se define como un terreno plano de pendientes suaves en dirección oriente, conformado principalmente de gravas y arenas de origen volcánico, en donde se forman los depósitos de poca elevación, originadas por la erosión de las partes altas, estas dunas están constituidas por arenas finas de cuarzo y llegan a una elevación entre los 20 y 50 msnm, formando una cadena en el litoral marino en la zona.

Hacia el poniente de la costa, las mesetas que se presentan tienen una altura variable entre 20 y 150 msnm, formadas principalmente por boleas de grava y arena, que al paso del flujo de los arroyos se han erosionado formando terrazas y meandros que hacen que el terreno sea accidentado, principalmente en la parte norcentral alrededor de Cardel.

La provincia del Eje Neovolcánico está representada en la zona por el volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba) de forma redondeada, producto de diferentes episodios de lava y piroclastos emitidos por el volcán alcanzando una altura de 5610 msnm.

Hacia el occidente se encuentra el volcán Cofre de Perote, que presenta un descenso prolongado y de forma redondeada en dirección oriente. Con una altura en la cima de 4250 msnm.

4.2. GEOLOGIA GENERAL

En la zona de Actopan-Cotaxtla, afloran las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de las cuales las rocas más antiguas son las rocas sedimentarias, calizas que pertenecen al Cretácico y datan de la era Mesozoica hasta el Cenozoico reciente.

Las principales rocas que se presentan a continuación son el resultado de los trabajos hidrogeológicos realizados anteriormente, por lo que se da una clasificación de acuerdo al tipo de roca que aflore en la región:

Rocas Sedimentarias.

En la porción sur-oeste, afloran las calizas en la parte montañosa, que pertenece a la Sierra Madre Oriental y la llamada Plataforma de Córdoba, aunque debido a las alteraciones permite que en las calizas se presente el fenómeno de carsticidad, obteniéndose como resultado la fuente de recarga para los acuíferos del valle.

Las calizas que afloran son de la formación Orizaba, Atoyac y Guzmantla, que presentan de manera general altas concentraciones de carbonato de Calcio CaCO_3 , y otras de origen arrecifal.

La presencia de algunas lutitas del Jurásico afloran en una extensión de 7840 m² y presentan permeabilidad baja, de esta forma son de poca importancia y no se consideran, se localiza en las estribaciones de la Sierra Zongolica al sur-oeste y otra pequeña porción al nor-oeste.

Los depósitos de sedimentos están constituidos principalmente por una alternancia de lutitas y areniscas de una edad Cenozoica, producto de los movimientos tectónicos y fragmentación de la desintegración de las rocas volcánicas, que cubren una gran superficie de la cuenca Terciaria de Veracruz.

Los depósitos de gravas y arenas ocupa la parte centro-oriental, formando principalmente las mesetas de unos 15 a 20 metros de espesor compuesto de capas gruesas de cantos y gravas de origen basáltico, de una matriz arenosa. La posición de pendientes hacia el oriente, encontrándose algunos depósitos de tobas y cenizas volcánicas alteradas al sur-este, por lo que la cuenca Terciaria de Veracruz se encuentra cubierta por rocas sedimentarias y rocas vulcanoclásticas del Terciario al Cuaternario.

En el límite occidental de la cuenca Terciaria de Veracruz, se forman en las estribaciones de la sierra, los llamados depósitos de pie de monte, constituidos por clásticos angulosos de basalto de una granulometría entre cantos y arenas gruesas, resultado del proceso de erosión, cubriendo las rocas basálticas, a estos depósitos se les asigna una edad del Cuaternario. Los depósitos aluviales son el resultado de la acumulación de gravas y arenas de origen fluvial, formándose a lo largo de los cauces de los ríos y arroyos de toda la zona.

Las arenas y limos se encuentran constituyendo los depósitos de playa, así como las arenas finas de cuarzo y feldespato que conforman las playas de la franja costera, permitiendo la comunicación entre el agua dulce y el agua salina de mar.

Las lutitas calcáreas y margas se encuentran ampliamente distribuidas en la región en un 60% de la planicie costera, pertenecen a la formación Mendez, Necoxtla, se encuentran en el subsuelo de la cuenca terciaria de Veracruz según información recabada por Pemex (1979).

Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas representadas por filitas y esquistos de edad Paleozoica, aunque tienen la edad más antigua de la región, debido a su reducida extensión y permeabilidad baja no se considera importante y se localiza al norte del poblado de las Vigas Ramírez de la porción nor-occidente de la zona, fuera de la cuenca que delimita al río Actopan.

Rocas ígneas

Las rocas ígneas se dividen en extrusivas e intrusivas y de las que afloran en la región, son de tipo extrusivo representadas por cenizas volcánicas, andesitas, corrientes de tobas andesíticas y derrames basálticos principalmente, de una edad del Mioceno al Cuaternario reciente, cubren la parte norte, nor-occidental y al occidente en la zona montañosa sobresalen los derrames de andesita, que sobreyacen de la ceniza volcánica, lapilli y arenas de tipo andesítico, que anteriormente fueron compactadas y cementadas, se encuentran cerca del aparato volcánico Pico de Orizaba, el cual está constituido por rocas andesíticas.

Los derrames basálticos de color gris a rojizo, están alternando con clásticos angulosos de basalto, de una matriz areno-arcillosa, al nor-este principalmente en la Sierra Tres Picos, a 30 km aproximadamente al norte del poblado de Cardel.

Generalmente estos derrames basálticos se encuentran hacia las partes bajas de las serranías, rellenando los valles, se presentan con poco espesor, sobreyaciendo de las rocas sedimentarias del Cretácico, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental.

Las rocas volcánicas como andesita y basáltos son el producto de la actividad de los volcánes Cofre de Perote, Pico de Orizaba y otros secundarios como los volcánes de San Martín entre otros.

Las rocas volcanoclásticas forman estratificaciones de arenas volcánicas bien consolidadas, tobas arcillosas y conglomerados de fragmentos, de rocas que pertenecen al Mioceno con espesores de 0.5 hasta 7 metros.

Las rocas ígneas intrusivas son los granitos, granodioritas y grabos que afloran en pequeñas extensiones al norte del poblado de Actopan, ya en el límite de la parte alta que delimita el parteaguas del río Actopan.

4.3 UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Las rocas presentan características como: la capacidad de almacenar y transmitir agua a través de su medio poroso.

La permeabilidad que se presenta en las rocas es la capacidad de conducir el agua a través de los conductos o canales que forma su medio poroso. De esta forma depende del grado de porosidad y textura, para que el agua pase a través de su medio y sea la roca un buen conductor de agua.

Las rocas que conforman la zona de estudio se clasifican de acuerdo a la permeabilidad que presentan como: permeabilidad alta (A), permeabilidad media (M), permeabilidad baja (B), su distribución se muestra en el plano No. 2.

4.3.1. UNIDAD DE ALTA PERMEABILIDAD

Este grupo esta formado por rellenos aluviales compuesto de gravas y arena que debido a su variada granulometría presenta buena porosidad y alta permeabilidad.

También los depósitos de basalto que por su estructura vesicular y al fracturamiento que presentan, representa un acuífero potencial capaz de transmitir el agua.

Las calizas que presentan, un índice elevado de carsticidad, originado del contacto del agua superficial con el carbonato de calcio formándose cavernas y fisuras, que permiten fácilmente el flujo del agua, y sirven de recarga en las zonas altas de la región sur-oeste.

La composición de arenas y areniscas, con escasa presencia de arcilla presentan una buena porosidad, siendo un buen transmisor del flujo de agua.

4.3.2. UNIDAD DE PERMEABILIDAD MEDIA

Formada por depósitos de rocas andesitas, tobas y conglomerados compuestos por boleos y arena semicompacta, así como en las zonas altas del centro occidente, en las que sobreyacen las cenizas volcánicas que debido al intemperismo se encuentran alteradas por lo que se les asigna una permeabilidad variada.

4.3.3. UNIDAD DE PERMEABILIDAD BAJA

Dentro de esta unidad se encuentran las rocas metamórficas como filitas y esquistos, las rocas ígneas intrusivas que se presentan son granitos, granodioritas y grabos que se presentan en una reducida extensión y de baja permeabilidad. Las rocas que predominan son las sedimentarias arcillosas que corresponden a la lutitas, las cuales no permiten tan fácilmente el flujo del agua subterránea ocasionando que sean poco permeables, se encuentran en depósitos de granulometría fina y semicompacta. Así las arenas-arcillosas que presentan intercalaciones de lutitas hacen que esta unidad no sea buen transmisor del agua subterránea.

4.4 ACUIFEROS

Las rocas que constituyen un acuífero deben ser permeables y porosas, permitiendo una buena transmisión y almacenamiento del agua, para que represente un potencial, que proporcione un rendimiento seguro de la extracción del agua subterránea. Se clasifican desde el punto de vista hidráulico en acuífero libre, semiconfinado, confinado.

El acuífero libre es el depósito subterráneo que presenta una superficie libre del agua a la presión atmosférica, este nivel de agua se le conoce como nivel freático.

Acuífero semiconfinado tiene en la parte superior una formación que presenta una permeabilidad media.

Acuífero confinado está limitado en la parte superior por una capa confinante de baja permeabilidad que mantiene el agua a una presión mayor que la atmosférica.

En ambos acuíferos semiconfinado y confinado se presenta el nivel piezométrico, que es aquella línea imaginaria que rebasa el nivel freático. Se convierten en acuíferos libres si el nivel piezométrico desciende por debajo del nivel de confinamiento.

Los acuíferos se definen también a partir de las aberturas que presenten las rocas que lo constituyen así un acuífero primario estará formado por los huecos que se forman entre las partículas de tipo granular. Acuífero secundario formado en base a las fracturas, fisuras y disyunciones que se presentan. Acuíferos kárstico se forma por la disolución que produce el agua al contacto con el carbonato de sodio generalmente en las calizas formando canales de disolución y cavernas.

El funcionamiento hidráulico de los acuíferos se establece por la recarga y la extracción del agua subterránea en las formaciones permeables de la zona, debido a estos se elaboró el plano hidrogeológico que muestra las formaciones de permeabilidad alta, media y baja, (plano N° 2).

En la zona de estudio se encuentra los siguientes acuíferos en la planicie que conforman los valles:

En el valle de Actopan como acuífero principal lo constituyen los depósitos de gravas y arenas que ocupan gran parte de la Planicie Costera, que se localiza entre los ríos La Antigua y Actopan, y los poblados de Puente Nacional, Cardel y La Gloria (plano No.2). La característica de este acuífero es que donde afloran los depósitos granulares funciona como libre y donde afloran capas de unidades arcillosas funciona como semiconfinado y en algunos casos ya en las estribaciones de la sierra como acuíferos confinados.

Los acuíferos de la porción oriente en los valles de Jamapa y Cotaxtla se encuentra formados por estratos de gravas y arenas con intercalaciones de limos, de una base arcillosa con espesores aproximados de 60 y 120 metros, funcionando como acuíferos libres, localizando la mejor área para la explotación, entre los poblados de Tlaxicoya y Alvarado. Hacia la parte oeste se encuentran acuíferos kársticos cerca de Córdoba, constituido por calizas pertenecientes a las sierras como se muestra en el corte esquemático A-B' (figura N° 12).

En la zona costera de Jamapa-cotaxtla se estima un volúmen aproximado de $1870 \text{ km}^2 \times 120 \text{ m} = 224\,400 \text{ Mm}^3$ de agua dulce.

En el valle de La Antigua se encuentran acuíferos con espesores de arenas que sobrepasan los 200 metros, son buenos almacenadores de agua, por lo que resultaría provechoso la utilización de estos acuíferos para abastecer las demandas principalmente de la ciudad de Veracruz y algunos poblados.

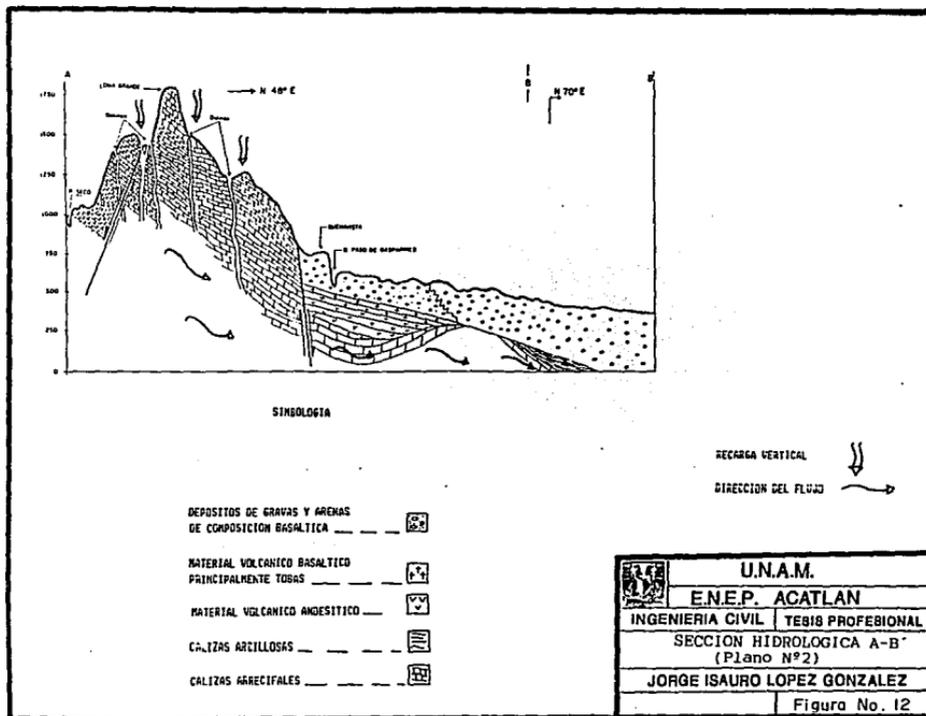
El corte esquemático E-F (figura N° 13), muestra los depósitos de arenas y gravas de una base arcillosa, con espesores aproximados de 100 a 80 metros, en la zona central del Valle de La Antigua.

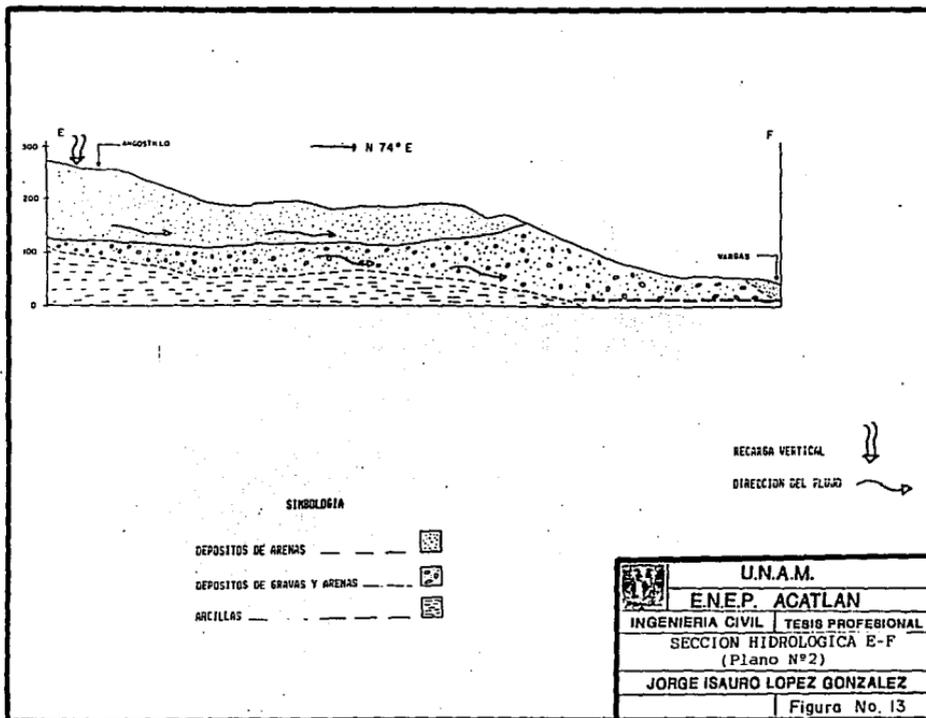
En el plano hidrogeológico se muestra una zona en donde los materiales granulares como arenas y gravas que afloran en la parte central han sufrido un intemperismo convirtiéndose a arcillas, ocasionando que esta formación presente una permeabilidad baja.

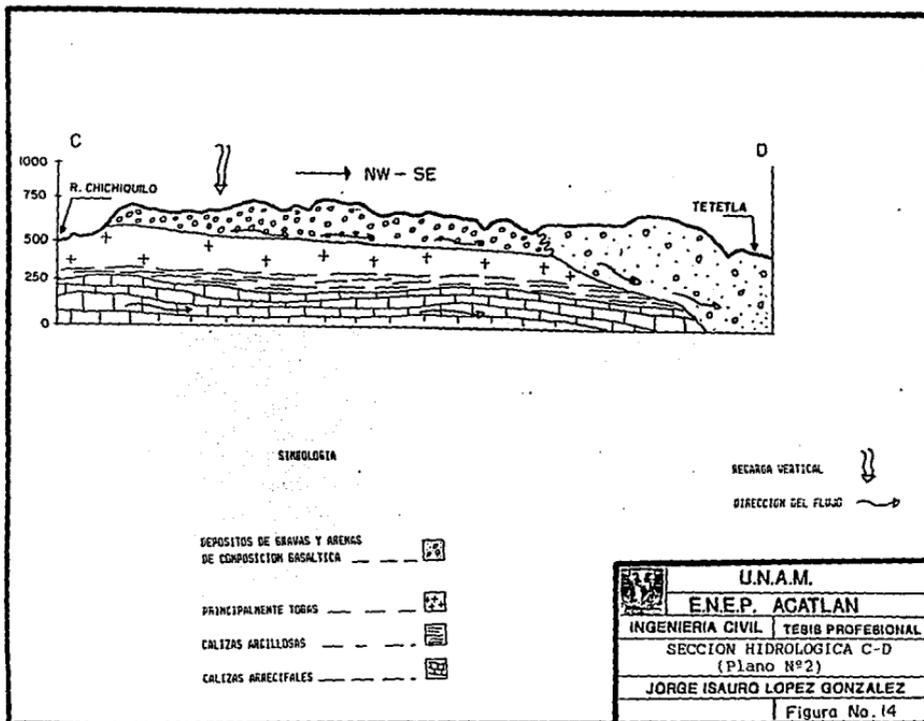
La zona de permeabilidad alta la conforman las calizas siendo un acuífero kárstico ya que se convierten en buenos almacenadores y conductores de agua.

El corte esquemático C-D (Fig. No. 14) muestra los diferentes estratos que prevalecen en esta región ya que a medida que se acerca al occidente se encuentran las formaciones de caliza y le sobreyacen las gravas y arenas de composición basáltica.

Con esta información de la profundidad visto en el corte C-D se estima un volúmen aproximado de $300 \text{ m} \times 1832 \text{ km}^2 = 549600 \text{ Mm}^3$ de agua dulce.







5.- HIDROGEOQUIMICA

La hidrogeoquímica es el estudio de los aspectos geoquímicos del agua, su procedencia se basa en la infiltración que ocurre con el agua de lluvia que al circular por las diferentes rocas que existen en la zona produce cambios en su composición, de esta forma es una herramienta útil para definir la concentración de los minerales y el funcionamiento del acuífero.

Los factores determinantes en la composición química del agua, dependerá de la solubilidad de las rocas por las que circula, los factores que afectan son: la temperatura a que se encuentran el agua y las rocas, el área de contacto, la velocidad de circulación y la longitud del recorrido.

Dentro de este estudio hidrogeoquímico se comprenden los siguientes aspectos:

- a) Obtención y análisis físico-químicos de muestras de agua
- b) Ordenamiento y cálculo analítico de los resultados de los análisis.
- c) Elaboración e interpretación de planos y diagramas de Piper y Wilcox.

5.1. MUESTREO Y ANALISIS DEL AGUA

Para efectuar el muestreo de agua se hace una selección de varios aprovechamientos que se encuentren en la zona, tomando en cuenta una distribución espacial y en base a las características constructivas como norias y pozos.

El muestreo se efectúa usando frascos de polietileno de un litro de capacidad, con doble tapa. Los frascos deben llenarse totalmente para evitar la gasificación de algunos componentes que podrían provocar reacciones químicas y alterar la composición de la muestra que es representativa de enormes volúmenes de agua.

En las pruebas de campo se toma el registro de temperatura y potencial de hidrógeno (ph).

Las pruebas de laboratorio abarcan la conductividad eléctrica, iones, dureza del calcio y magnesio, dureza total y sólidos totales disueltos.

La concentración de diferentes iones y sustancias disueltas pueden expresarse en partes por millón (ppm). Es el gramo de un millón de gramos o sea en mg/kg, siendo la forma más usual.

Otra forma es el miligramo por litro, mg/l. Se entiende por litro de disolución. Se tendrá una igualdad de 1ppm = 1mg/l siempre y cuando la concentración total de sales no supere los 5000 ppm dado que la densidad del agua en este caso es aproximadamente 1.

Se presenta una distribución lo más completa posible para los valles que se encuentran en la zona, donde se muestrearon, 45 aprovechamientos subterráneos, correspondientes a 27 pozos y 18 norias y su localización se encuentra referida en el plano N°3.

5.2. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA SUBTERRANEA

5.2.1. TEMPERATURA

Aunque no causa ningún daño el agua de abastecimiento público tibia o caliente, se considera desagradable y generalmente rechazada por los consumidores. Es importante conocer la temperatura ya que se encuentra relacionada con la estabilidad del potencial de hidrógeno en el agua.

En el valle de Actopan-La Antigua la temperatura varía entre los 25 a 28°C, siendo casi uniforme en todo el valle, con un valor de 27°C temperatura promedio del agua subterránea, el valor máximo encontrado se localiza al norte del poblado de Zempoala y el mínimo registrado fue en el poblado de José Cardel.

Para el valle de Jamapa la temperatura fluctúa entre los 24 y 28°C, pero de acuerdo a la variación que se encuentra entre uno y otro registro cercano es de 1 a 2°C. El valor máximo encontrado se localiza en el poblado de Vargas con 28°C y el mínimo en el municipio de La Antigua, de acuerdo a todos los datos que se encontraron en esta región las aguas subterráneas tienen un promedio de 26°C.

En el valle de Cotaxtla la temperatura del agua subterránea oscila entre los 25 y 28°C, el valor mínimo se reporta en la parte central del valle y el más alto encontrado en el poblado de Cotaxtla, la temperatura promedio es de 26.5°C.

5.2.2. POTENCIAL DE HIDROGENO (ph)

El ph es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua, que indica si esta ácida o alcalina.

La determinación del ph es importante en el control de la corrosión y en muchos procesos en el tratamiento del agua se recomienda que esté entre 6 y 8.

Valle de Actopan_La Antigua

El valor promedio del ph fue de 7.15 lo cual significa que el agua que se encuentre es alcalina, ya que según los reglamentos:

ph < 7.0 es ácida

ph > 7.0 es básica o alcalina

ph = 7.0 es neutral

Esta característica de ser alcalina es consecuencia de la presencia de rocas calizas e igneas ya que contienen carbonatos y silicatos que son causa directa de la alcalinidad.

Valle de Jamapa

En esta zona se tiene un valor promedio de 7.16 de ph que representa alcalinidad en el agua subterránea, que es consecuencia de las rocas que se encuentran en el subsuelo como las calizas arcillosas y material volcánico.

Valle de Cotaxtla

En este valle se obtuvo un valor promedio de 7.3 de ph indicando que también es agua alcalina, la que se encuentra en el subsuelo procedente de las rocas que contienen carbonatos.

5.2.3. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Los sólidos totales disueltos (STD), representan el índice de salinidad del agua subterránea, debido al ataque del agua sobre las formaciones geológicas que facilita la remoción de sales provenientes de diferentes suelos y rocas. Este valor puede determinar los usos del agua de acuerdo a lo siguiente:

aguas dulces	=	0	a	1000	ppm	de sust. disueltas
aguas salobres	=	1000	a	10 000	ppm	de sust. disueltas
aguas saladas	=	10 000	a	100 000	ppm	de sust. disueltas
aguas salmueras	=	más	a	100 000	ppm	de sust. disueltas

Valle de Jamapa-Cotaxtla.

En la zona de Jamapa las captaciones subterráneas tienen un valor promedio de 592 ppm, con valores mínimos hasta de 381 ppm, localizado al norte del poblado El Buzón al poniente de la parte central del valle, los valores se incrementan hacia la costa con valores como 1249 ppm cerca del poblado Boca del Río.

En el plano N°4 se muestran las curvas de igual contenido de sólidos totales disueltos, se aprecia que la curva de 400 ppm se encuentra cerca de las estribaciones de la sierra siguiendo una dirección casi paralela a la costa pasando a la altura de los poblados Paso de Ovejas, Tenenexpan, Cotaxtla, lo que hace suponer que en conjunto con el agua que viene de las partes altas, se infiltra en una línea imaginaria en las partes bajas de la sierra y sigue una dirección que viene del oeste y va hacia el este aumentando sus concentraciones a medida que avanza hacia la costa.

Se presentan pequeñas zonas que sobrepasan las normas establecidas para aguas dulces, como es el caso en los alrededores de la población Mata Loma, donde se observan concentraciones superiores a los 1000 ppm de STD, siendo este un problema local debido a la condición que prevalece en otras muestras tomadas en esta área.

La segunda zona se encuentra localizada entre Boca del Río y el aeropuerto como se aprecia en el plano N°4, existen curvas de 1200 ppm, alcanzando concentraciones de 1250 ppm de sólidos totales disueltos; debido a la forma que prevalece en la configuración llega al cauce del río Moreno, presentado con anterioridad en la red hidrográfica del capítulo 3, llegando a desembocar en el Golfo de México, de tal forma que a medida que se acerca a la costa aumentan las concentraciones de sólidos totales disueltos disminuyendo a

la lejanía de este río, esta problemática se presenta ya que cuando sube la marea acarrea mayor volumen de agua salada tierra adentro desplazando la cantidad de agua dulce.

En los acuíferos costeros sin explotación, el agua dulce se vierte al mar a través de cursos de aguas superficiales o bien subterráneamente. Esta fuga de agua subterránea mantiene cierta posición de la interfase agua dulce-agua salada se muestra en la figura N°15.

Una forma de saber si existe intrusión salina es apartir del principio de Ghyben-Herzberg, y su interpretación es tomando un punto cualquiera de la interfase llamado A, en donde debe existir el equilibrio entre la presión de agua dulce y agua salada y como lo establece la hidrostática sobre la presión de un punto en un líquido en reposo $P = \tau \times z$ y para el caso es el contacto entre dos líquidos inmiscibles (interfaz), como se muestra en la Figura N°15.

Donde el peso específico del agua dulce multiplicado por su carga de posición, debe ser igual al peso específico del agua salada multiplicada por la carga de posición. Esto es:

$$\begin{aligned} \tau_{as} \times Z &= \tau_{ad}(Z+h) && \text{Sustituyendo} \\ \tau_{as} &= 1.025 \text{ gr/cm}^3 && (1.025 \text{ gr/cm}^3)Z = 1 \text{ gr/cm}^3(Z+h) \\ \tau &= 1 \text{ gr/cm}^3 \text{ Agua Dulce} && Z = 40h \end{aligned}$$

donde :

h = cota sobre el nivel de mar de agua dulce en la vertical del punto A.

Z = profundidad bajo el nivel de mar al punto A.

τ = peso específico del agua dulce 1000 gr/cm³.

τ_{as} = peso específico del agua salada con valor de 1025 gr/cm³

En base a esta relación indica que la interfase salina se encuentra a una profundidad bajo el nivel de mar de, 40 veces la cota del agua dulce sobre el nivel en el punto "A" mostrado en la Figura No. 13. De esta forma por cada metro que se eleve el nivel piezométrico del acuífero sobre el nivel del mar, existirán 40 metros de agua dulce bajo el mismo nivel de referencia.

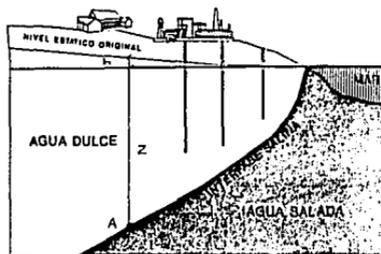
$$P = \gamma \times Z \quad \text{LIQUIDO EN REPOSO}$$

$$\rho_{AS} \times Z = \rho (Z+h)$$

$$\rho_{AS} = 1.025 \text{ gr/cm}^3$$

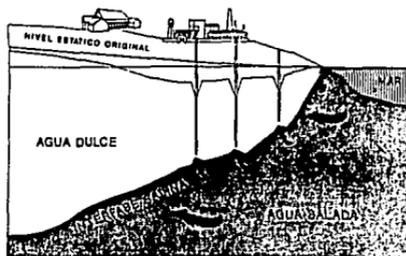
$$\rho = 1 \text{ gr/cm}^3 \text{ AGUA DULCE}$$

CONDICION
NATURAL



**EVOLUCION TEORICA DE LA INTERFASE SALINA
EN EL ACUIFERO DE VERACRUZ**

CONDICION
A LARGO
PLAZO



Sustituyendo

$$(1.025 \text{ gr/cm}^3)Z = 1 \text{ gr/cm}^3(Z+h)$$

$$Z = 40h$$

 U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TEG18 PROFESIONAL
INTERFASE SALINA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 15	

Se denomina agua salada o masa de agua salada al agua con un contenido de cloruros igual o muy proximo a las concentraciones encontradas en el mar y según Goldberg (1957). La composición química del agua del mar en los factores más representativos que son: el cloro con 19 000 ppm y el sodio con 10 500 ppm. Comparados con las muestras de la zona donde se presentan altas concentraciones de estos iones, el valor más alto del cloro es de 798 ppm y 253 ppm de sodio, localizados en la parte baja del valle de Cotaxtla muy proximo al poblado Tlalixcoyan.

Se llamará intrusión de agua salada o marina al movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando el agua dulce, en este caso el acuífero costero se puede contaminar por las inundaciones de agua salada durante tormentas otra de las formas con la cual se contamina es la penetración del agua de mar al subir la marea se desplaza en los rios que desembocan el mar, o en lagunas costeras ya sea por inundaciones de lluvias salinas originadas por fuertes tormentas extraordinarias.

Valle de Actopan-La Antigua

Los sólidos totales disueltos encontrados en las diferentes muestras varían desde 274 ppm como mínimo hasta los 640 ppm como máximo, ejemplificando al valor máximo representa que en cada millón de kilogramos de agua examinada se encontraron 640 kilogramos de STD. Los valores menores se localizan en la región central y norte del valle encontrándose entre la curva de 400 ppm en las estribaciones de la sierra, y a la vez la curva de 500 ppm pasa cerca de los poblados de Ursulo Galvan y la Antigua al oriente de la planicie costera como se observa en el plano N°4.

5.2.4. CATIONES

Valle de Actopan-La Antigua

Calcio (Ca⁺⁺)

Las concentraciones varían de 18 a 80 ppm, el valor promedio de la zona en este valle es de 47.9 ppm de calcio, se encuentran los valores más altos en la parte oriente, originados de la disolución de las formaciones carbonatadas que se localizan en la porción occidental, estas aumentan conforme el agua subterránea avanza a través de las rocas hacia las regiones topográficas bajas. En esta zona la presencia de calcio es principalmente por la disolución de calizas y rocas ígneas que se encuentran en la parte occidental del valle.

Valle de Jamapa

El catión que prevalece en este valle es el calcio por la uniformidad que se refleja en comparación con los demás valles, encontrándose en mayor grado de concentración, resultando un valor promedio de 93 ppm, la zona más conflictiva se encuentra al oriente del aeropuerto siguiendo la dirección de la línea férrea con destino hacia el poblado de Medellín con concentraciones hasta de 224 ppm, el valor mínimo se localiza muy cerca del poblado el Buzón con 48 ppm, esto nos indica que los valores bajos se encuentran en el occidente y debido al flujo subterráneo pasa disolviendo las calizas y el cemento calcáreo que se encuentra en muchas rocas del subsuelo en poca proporción las rocas ígneas presentes en las partes montañosas, el efecto que ocurre es que a medida que avanza el agua se incrementa la concentración de calcio que aporta dureza en el agua con valores que sobrepasan los 1000 ppm como se muestra en la tabla N°10.

SODIO (Na++)

Las concentraciones de sodio arrojan datos muy variados que representan que en ciertos sectores se encuentren valores de 276 ppm y en otros muy bajos mejores de 10 ppm, es por esto que el sodio encontrado se debe principalmente a la presencia de formaciones calcáreas que afloran en las región montañosa y al contenido de sodio que tienen algunas rocas ígneas que al pasar el agua através de ellas lo disuelve.

En promedio la región tiene 80 ppm de concentrado de sodio sin rebasar el límite establecido de 1 a 150 ppm de aguas dulces, según J.M. Lesser. En el plano N°5 se representan las curvas de concentración de sodio, donde se ubican curvas de 40 y 50 ppm al poniente del valle.

Valle de Cotaxtla

CALCIO (Ca+)

Las concentraciones oscilan entre 14 y 51 ppm y de acuerdo a todos los datos recopilados se obtiene un valor promedio de 38 ppm, las concentraciones aumentan del occidente al oriente del valle. La presencia del calcio es debida a la disolución de las calizas tanto las que afloran en las partes montañosas cerca de Cordoba y Orizaba así como de la disolución de las rocas que contienen carbonatos al paso del agua subterránea.

SODIO (Na+)

Este catión se encuentra entre 1 y 150 ppm para aguas dulces y no se presenta como uno de los constituyentes fundamentales de los minerales de las rocas.

En esta zona las concentraciones de sodio fluctúan entre los 24 y 77 ppm encontrándose dentro del rango para aguas dulces.

En el plano N°5 se encuentran las curvas que representan en partes por millón el concentrado de sodio, en donde se aprecia la curva de 40 ppm rodeando al poblado de Actopan incrementándose hacia el oriente ya en las partes bajas de la cuenca del valle, donde se localizan los valores máximos hasta de 94 ppm sin sobrepasar los límites para agua dulce, obteniendo un valor promedio de 55 ppm.

MAGNESIO (Mg++)

Las concentraciones de magnesio en partes por millón se presentan en las muestras con valores muy bajos que varían desde 3 a 26 ppm como se observa en la tabla N°9, con un valor promedio de 18 ppm, encontrándose dentro del rango de 1 a 100 ppm definido para las aguas dulces encontradas en el subsuelo.

Se aprecia que en este valle se encuentran las menores concentraciones de magnesio debiendo su origen a la disolución de las formaciones carbonatadas que se localizan en la porción occidental del área.

Valle de Jamapa

El catión que prevalece en este valle es el calcio por la uniformidad que se refleja en comparación con los demás valles, encontrándose en mayor grado de concentración, resultando un valor promedio de 93 ppm, la zona más conflictiva se encuentra al oriente del aeropuerto siguiendo la dirección de la línea férrea con destino hacia el poblado de Medellín con concentraciones hasta de 224 ppm, el valor mínimo se localiza muy cerca del poblado el Buzón con 48 ppm, esto nos indica que los valores bajos se encuentran en el occidente y debido al flujo subterráneo pasa disolviendo las calizas y el cemento calcáreo que se encuentra en muchas rocas del subsuelo en poca proporción las rocas ígneas presentes en las partes montañosas, el efecto que ocurre es que a medida que avanza el agua se incrementa la concentración de calcio que aporta dureza en el agua con valores que sobrepasan los 1000 ppm como se muestra en la tabla N°10.

SODIO (Na⁺⁺)

Las concentraciones de sodio arrojan datos muy variados que representan que en ciertos sectores se encuentren valores de 276 ppm y en otros muy bajos menores de 10 ppm, es por esto que el sodio encontrado se debe principalmente a la presencia de formaciones calcáreas que afloran en las región montañosa y al contenido de sodio que tienen algunas rocas igneas que al pasar el agua através de ellas lo disuelve. En promedio la región tiene 80 ppm de concentrado de sodio sin rebasar el límite establecido de 1 a 150 ppm de aguas dulces, según J.M. Lesser. En el plano N°5 se representan las curvas de concentración de sodio, donde se ubican curvas de 40 y 50 ppm al poniente del valle.

Valle de Cotaxtla

CALCIO (Ca⁺)

Las concentraciones oscilan entre 14 y 51 ppm y de acuerdo a todos los datos recopilados se obtiene un valor promedio de 38 ppm, las concentraciones aumentan del occidente al oriente del valle. La presencia del calcio es debida a la disolución de las calizas tanto las que afloran en las partes montañosas cerca de Córdoba y Orizaba así como de la disolución de las rocas que contienen carbonatos al paso del agua subterránea.

SODIO (Na⁺)

El sodio encontrado no rebasa los 100 ppm que se establece para que el tipo de agua sea de buena calidad.

En el plano N°5 se registraron los valores configurando las curvas que van de 40 ppm hasta los 60 ppm, que parten de los más bajos encontrados al poniente con un sentido al oriente.

5.2.5. ANIONES

Los aniones más representativos de la zona estudiada son: sulfato, cloro y bicarbonatos.

Valle de Jamapa

El ion bicarbonato (HCO₃⁻) su valor promedio de todos los valores es de 366 ppm, con un mínimo de 201 ppm y un máximo de 736 ppm como se observa en la tabla N°9.

El elemento se puede mantener en un rango de 50 a 350 ppm llegando a veces hasta los 800 ppm y dependerá de su potencial de hidrogeno (ph) para que sea determinante en la

corrosividad o de incrustarse en las paredes del ducto al que se someta el agua. Como se observa en este valle se presentan en la parte occidente rocas calizas y carbonatadas que es la fuente principal de recarga y ya en las partes bajas se tienen elevadas concentraciones de este anión.

Los carbonatos (CO_3^-) y sulfatos (SO_4^-), presentan en promedio 8 y 27 ppm respectivamente, como se puede apreciar en la tabla N^o 9, en algunos casos las muestras que se analizaron, resultaron valores en cero que significa que no se encuentra este elemento en la zona o que es una cantidad insignificante que por el momento no repercute en el contenido de agua subterránea.

El cloro (Cl^-) que es el que sobresale por las concentraciones tan altas tiene un promedio en este valle de 165 ppm y se encuentra como valor máximo de 710 ppm al oriente del aeropuerto cerca del cruce que desvía por vía ferrea al puerto de Veracruz y a Medellín; por otro lado el valor mínimo de 32 ppm se localiza al occidente entre los poblados de Tierra Colorada y Paso de Ovejas.

En el plano N^o 6, se pueden apreciar las curvas de las concentraciones en partes por millón del anión cloro donde se presentan valores de 25 ppm, en las estribaciones de la sierra incrementándose al oriente hasta rebasar los 500 ppm cerca del puerto de Veracruz.

Para poder decir que el agua encontrada en el subsuelo sea dulce debe encontrarse entre 10 y 250 ppm, del anion cloro, ahora bien se dice que el agua de mar contiene 21 000 ppm si existiera intrusión de agua de mar cerca del litoral se encontrarían contaminados los pozos y las norias cercanos y las muestras que presentan mayor grado de cloruro solo alcanza los 710 ppm, así como las cercanas a estos aprovechamientos, como es el caso de el pozo N^o 441, a las afueras del puerto de Veracruz contiene de este elemento 344 ppm descendiendo esta concentración con relación a la antes mencionada y más cercana al mar reflejando que es un problema local.

Valle de Actopan-La Antigua

Los bicarbonatos (HCO_3^-) que se encuentran en este valle fluctúan entre 209 ppm como mínimo y 402 ppm de máximo, con un promedio en esta área de 322 ppm, en casi todas las muestras se puede uno percatar que debido a su distribución se tiene una dirección de flujo hacia el oriente, llevando a cabo una disolución de calizas que se encuentran en las partes altas y subyacen de los depósitos de gravas y arenas de composición basáltica.

Los carbonatos (CO_3^-) se presentan en las muestras sin concentración alguna del poblado de Cardel hacia el norte según la distribución de los aprovechamientos que se localizan en esta porción y hacia el sur de este valle se presentan muestras que tienen un valor promedio de 9 ppm que en realidad es poco lo encontrado para este anión.

El cloro (Cl^-) varía de 18 ppm a 53 ppm y en base a todas las muestras que fueron seleccionadas se obtuvo un promedio de 30 ppm estas cantidades que están contenidas en el agua subterránea no repercuten en la calidad del agua. En el plano N°5 se presentan las curvas de igual concentración de cloro partiendo de 25 ppm al occidente con una alineación de la curva que tiene un sentido que va del sur al norte, incrementándose las concentraciones al oriente hasta de 30 ppm.

Los sulfatos (SO_4^-), se presentan con una variación de las muestras estos datos fluctúan entre 2 y 20 ppm, con un promedio de 10 ppm, que representan muy poca cantidad de saturación que expresados en mkg/kg o sea que por cada millón de kg de agua se encuentran 10 kg de sulfato o 10 mg/l.

Valle de Cotaxtla

La presencia de los Bicarbonatos (HCO_3^-) se debe principalmente al dióxido de carbono existente en la atmósfera, así como del suelo y de la disolución de las rocas carbonatadas que se encuentran en el suroeste de la zona de estudio, específicamente al occidente de la ciudad de Córdoba donde afloran las calizas que presentan las características propicias, que dan una mayor concentración de este ión, se encuentra un valor mínimo de 201 ppm y el mayor es de 736 ppm localizado ya en la planicie costera cerca del litoral marino.

Los carbonatos (CO_3^-) se presentan de forma muy baja en saturación ya que los valores fluctúan entre 4 y 18 ppm y en algunos casos llega a ser nula como se observa en la tabla N°10.

El cloro se encuentra al margen de lo establecido, ya que cuenta con un promedio de 46 ppm y en algunos casos como los mostrados en la tabla N°12, el valor más alto se encuentra en el poblado de Tlalixcoyan con un valor de 798 ppm. En el plano N°6 se puede apreciar que al oriente del valle se localizan las concentraciones más altas y en específico la curva 700 ppm de cloro y en el sentido del poniente ya en las estribaciones de la sierra inicia con una curva de 25 ppm llegando hasta 500 ppm en forma general.

ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO
VALLE DE ACTOPAN - LA ANTIGUA

DBRA No.	C.E. umhos/cm	P.H.	TEMP. °C	S.T.D.	DUREZA TOTAL	DZA del Ca	DZA del Mg	CATIONES								ANIONES							
								Ca	Mg	Fe	Mn	Na+K	Cl	SO4	CO3	HCO3	NO3	PO4	SiO4	SiO2	SiO3	SiO	
								ppm (meq/l)															
P-14	425	7.20	27	410	201	139	62	56	2.75	15	1.23	57	0.19	375	5.69	0	0	24	0.68	10	0.21		
P-19	463	7.2	26	362	106	95	11	38	1.89	3	0.21	77	3.34	370	6.06	0	0	43	1.21	4	0.08		
P-16	394	7.3	27	274	116	44	74	18	0.86	18	1.46	51	0.1	229	3.75	0	0	25	0.71	7	0.15		
P-21	355	7.7	27	308	133	71	62	29	1.42	15	1.23	46	1.98	246	4.03	0	0	25	0.71	2	0.04		
P-41	370	7.1	27	320	173	109	64	44	2.19	15	1.26	49	2.14	302	4.95	0	0	18	0.49	10	0.21		
P-42	282	7	27	390	123	75	48	30	1.45	12	0.95	37	1.61	209	3.43	0	0	18	0.49	11	0.22		
P-43	428	7.3	27	368	189	91	98	37	1.62	24	1.93	69	2.14	370	6.06	0	0	24	0.66	6	0.13		
P-51	556	7.4	27	446	196	136	60	55	2.72	15	1.26	84	4.06	382	6.24	0	0	53	1.49	20	0.42		
P-208	650	8	24	640	260	160	100	64	3.19	24	1.97	77	3.55	402	6.59	9	0.29	44	1.24	20	0.42		
P-275	450	7	28	494	240	150	70	60	2.99	22	1.81	40	1.74	329	5.39	9	0.29	21	0.59	13	0.27		
P-278	500	7.45	26	532	310	200	110	80	3.99	26	2.14	24	1.04	347	5.86	9	0.29	33	0.93	13	0.27		
P-286	380	7	25	451	200	130	70	52	2.59	17	1.7	1.4	2	293	3.92	9	0.29	30	0.85	4	0.08		
P-288	470	7.5	28	507	250	150	100	60	2.99	24	1.97	42	1.83	329	5.39	9	0.29	30	0.85	13	0.27		

TABLA No. 10

ANALISIS HIDROGEOQUIMICO

VALLE DE JAMAPA

OBRA No.	C.E. cmhos/cm	P.H.	TEMP. ° C.	S.T.D.	DUREZA TOTAL	OZA del Ca	OZA del Mg	CATIONES						ANIONES							
								Ca +		Mg +		Na +		HCO ₃		CO ₃		Cl		SO ₄	
								ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l
P-6	1350	7.3	24	1141	500	300	200	120	5.95	48	3.95	153	7.09	475	7.75	4	0.15	301	6.48	30	0.53
P-7	1500	7.0	24	1222	730	450	280	180	8.58	88	5.59	79	3.94	549	8.99	0	0	246	6.95	98	2.04
P-8	2600	7.35	25	2012	100	560	440	224	11.17	107	8.8	278	12	587	9.25	0	0	710	20.03	128	2.87
N-53	800	7	26	758	450	320	130	128	6.39	31	2.55	30	1.31	457	7.49	4	0.15	53	1.69	55	1.15
P-131	470	7	26	484	270	150	120	60	2.99	22	2.39	30	1.31	311	5.09	18	0.59	35	0.98	1	0.02
P-167	600	7	28	509	340	180	160	72	3.59	39	3.21	12	0.52	329	5.39	9	0.29	44	1.24	4	0.08
N-246	430	7	26	421	270	100	170	40	1.99	41	3.37	12	0.52	274	4.49	4	0.13	32	0.9	18	0.38
P-309	700	7.39	26	786	400	250	150	100	4.99	36	2.96	5	0.22	368	5.99	9	0.29	62	1.75	8	0.17
N-311	1300	7.42	26	1117	550	330	220	132	6.58	53	4.36	126	5.46	530	8.88	0	0	275	7.78	1	0.02
N-326	430	7	26	381	280	129	180	48	2.39	39	3.231	1	0.04	218	3.58	13	0.43	53	1.49	8	0.17
P-325	410	7.2	26	450	230	90	2140	36	1.78	34	2.79	87	1.61	293	4.6	4	0.18	44	1.24	2	0.04
N-397	390	7.39	8	418	190	80	110	32	1.59	26	2.14	44	1.91	274	4.49	4	0.13	35	0.98	3	0.06
P-412	420	7.58	24	485	200	90	110	38	1.6	26	2.14	60	2.91	311	5.09	0	0	51	1.44	1	0.02
P-425	690			639	320	250	70	100	4.99	17	0.85	53	4.38	366	15.92	0	0	79	2.23	24	0.5
P-431	1300	7.45	26	1231	450	250	200	100	4.99	48	3.95	239	19.4	402	6.59	0	0	428	12.02	36	0.75
P-432	1600			1249	320	350	170	140	6.98	41	3.37	219	9.53	329	5.39	13	0.43	479	13.51	29	0.59
P-441	650	6.6	26	660	380	200	180	80	3.99	39	3.21	54	2.35	347	5.68	27	0.87	48	2.48	29	0.62
P-444	650	7.35	27	627	380	160	220	84	3.19	53	4.38	34	1.48	368	5.99	27	0.89	60	1.69	29	0.47
P-450	650			819	330	200	150	80	3.99	38	2.98	40	1.74	368	5.99	22	0.73	97	1.81	19	0.38

TABLA No. 11

ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO

VALLE DE COTAXTLA

OBRA No.	C.E. umho/om	P.H. °C	TEMP. °C	A.T.D.	DUREZA TOTAL	DZA del Ca	DZA del Mg	CATIONES						ANIONES							
								Ca	Mg	Na+K	NO3	CO3	Cl	SO4	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm
N-1522	360	7.45	27	349	200	90	110	36	1.79	26	2.14	26	1.13	256	4.2	0	0	30	0.785	1	0.02
N-1529	380	7.2	25	429	150	60	90	24	1.2	21	1.75	65	2.63	274	4.49	0	0	44	1.24	1	0.02
N-1539	500	7.18	25	505	240	100	140	40	1.69	34	2.8	48	2.00	329	5.39	0	0	53	1.5	1	0.02
N-1544	350	7	25	374	190	60	130	24	1.2	31	2.55	31	1.35	258	4.2	0	0	31	0.81	1	0.02
N-1564	360	7.95	26	333	200	80	120	32	1.59	29	2.39	17	0.74	201	3.29	0	0	46	1.3	8	0.17
N-1586	300	7.32	28	425	160	60	100	24	1.2	24	1.97	58	2.52	279	4.57	4	0.15	35	0.96	1	0.02
N-1827	600	7.43	26	605	300	150	150	60	2.99	36	2.96	57	2.46	366	5.99	9	0.29	76	2.14	1	0.02
N-1834	380	7	26	426	100	40	60	16	0.79	14	1.15	68	3.74	258	4.19	0	0	53	1.49	1	0.02
N-1641	950	7	26	899	380	170	210	58	3.39	51	4.2	153	6.66	292	4.78	13	0.43	319	8.99	3	0.06
N-1674	1400	7.5	25	1264	250	130	120	52	2.59	29	2.39	273	11.87	7.36	12.06	0	0	159	4.49	19	0.4
N-1721	1200	7.3	26	1064	260	100	160	40	1.99	38	3.13	242	10.53	457	7.49	16	0.59	266	7.5	3	0.06
N-1730	2300	7	25	2183	1200	600	600	240	11.98	145	11.92	253	11	732	11.98	9	0.029	798	22.51	6	0.13
N-1731	1500	7	25	1467	500	300	200	120	5.98	48	3.95	316	13.63	328	5.39	8	0.28	639	18.03	45	0.06

TABLA No. 12

5.2.6. DIAGRAMAS DE PIPER

Estos diagramas sirven para conocer los diferentes tipos de agua subterránea en base a la composición química de los principales cationes (calcio, magnesio y sodio), aniones (bicarbonatos, cloruros y sulfatos) todos ellos en porcentajes de miliequivalentes por litro (meq/l). La familia de agua a la que va a pertenecer será el anión o catión que predomine en la muestra, tabla N° 13.

Cationes : cálcicas, magnésicas, sódicas y mixtas

Aniones : bicarbonatadas, sulfatadas, cloratadas y mixtas

La familia de agua a la que pertenece la muestra dependerá de la ubicación dentro del triángulo como se muestra en la Figura 16-18.

Valle de Actopan-La Antigua

De este valle se puede decir que predominan las aguas de tipo Mixta-calcica-Bicarbonatada, como se muestra en el plano N°7, que se localiza en el centro del valle entre los ríos la Antigua y Actopan, haciendo suponer que el flujo tiene dos direcciones del noreste y sureste convergiendo en la parte central donde se concentra este tipo de agua.

Existe otro tipo de agua que difiere en su composición, es de tipo Mixta-Sódico-Bicarbonatada, que se encuentra al norte del valle comenzando en el poblado de Zempoala haciendo una franja hacia el norte en dirección de la punta Mancha, de esta área fluye el agua hacia las partes bajas pasando por las rocas ígneas, que afloran aunque en menor proporción en las partes altas, el diagrama triangular se muestra en la figura N°16.

Valle de Jamapa

Del diagrama triangular o de Piper mostrado en la figura N°17 se puede apreciar que en la parte central del valle predomina el tipo de agua Mixta-Calcica-Bicarbonatada, que difiere en poco con la Calcica-Bicarbonatada que se presenta hacia el sur ya que los valores de calcio se incrementan en esta área se presenta un cambio en su composición al poniente, siguiendo una franja que se encuentra por los poblados Manlio

Fabio Altamirano, El Buzón y Tierra Colorada, se incrementan los valores de Magnesio produciendo un cambio en su composición y el tipo de agua que se encuentra en esta zona es Mixta-Magnesica-Bicarbonatada, como se muestra en el plano N°7.

Valle de Cotaxtla.

En el valle de Cotaxtla predomina el tipo de agua Sodica-Bicarbonatada encontrada al sur cerca del poblado el Guayabo, la presencia de sodio para este caso es debida en su mayoría a los basaltos que aportan este catión, ahora bien cambia en poco su composición hacia el poniente por Magnesica-Bicarbonatada, debido a que predominan las calizas en la sierra madre del sur, los tipos de agua fueron el resultado obtenido del diagrama triangular (figura N°18).

No. DE MUESTRA	No. DE APROVECHAMIENTOS	FAMILIA DE AGUA
----------------	-------------------------	-----------------

VALLE DE JAMAPA

2-4-14-18	7-53-425-309	CALCICA-BICARBONATADA
5-6-9-17	187-151-311-441	MIXTA-CALCICA-BICARBONATADA
12-13	397-412	MIXTA-BICARBONATADA
3	8	MIXTA-CLORATADA
1-16	6-432	SODICA-CLORATADA
18-11	444-335	MIXTA-MAGNESIA-BICARBONATADA
10-7	320-246	MAGNESICA-BICARBONATADA

VALLE DE COTAXTLA

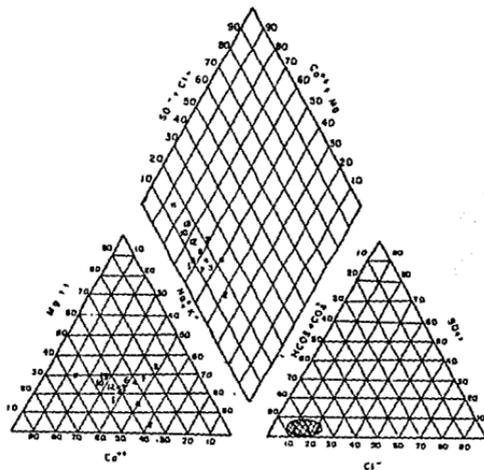
8-10-11	1634-1674-1721	SODICA-BICARBONATADA
13	1730	SODICA-CLORATADA
9	1641	MIXTA-SODICA-CLORATADA
2-6	1529-1586	MIXTA-SODICA-BICARBONATADA
12	1730	MIXTA-CLORATADA
1-3	1522-1539	MIXTA-MAGNESIANA-BICARBONATADA
4-5	1544-1564	MAGNESICA-BICARBONATADA

VALLE DE ACTOPAN - LA ANTIGUA

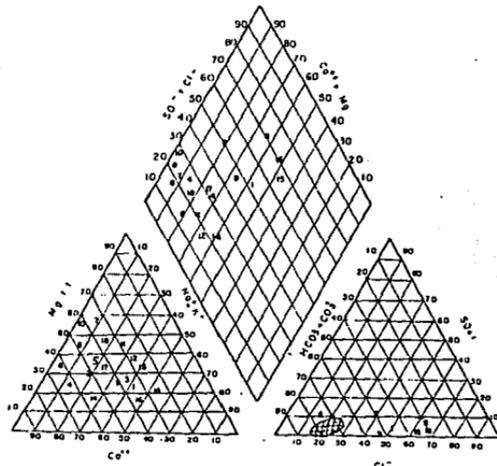
3-4-7	18-21-43	MIXTA-SODICA-BICARBONATADA
2-8	19-51	SODICA-BICARBONATADA
11	278	CALCICA-BICARBONATADA
1-10-12-13	14-275-286-288	MIXTA-CALCICA-BICARBONATADA
5-6-9	41-42-288	MAGNESICA-BICARBONATADA

TABLA No. 13

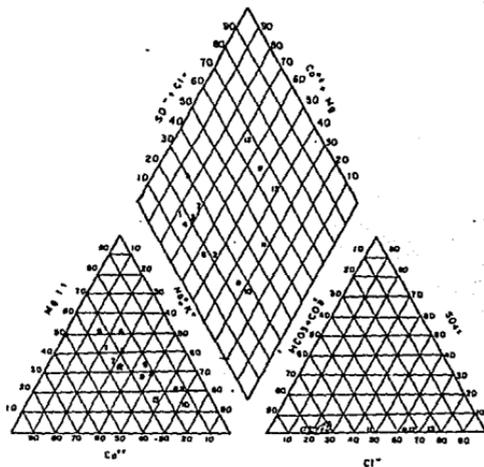
FAMILIAS DE AGUAS LA ZONA DE ESTUDIO



	
U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TEBIS PROFESIONAL
DIAGRAMA DE PIPER VALLE DE ACTOPAN-LA ANTIGUA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 15	



	
U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA DE PIPER VALLE DE JAMAFA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 17	



U.N.A.M.	
EN.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA DE PIPER VALLE DE COTACHTLA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 18	

5.3. INTERPRETACION HIDROGEOQUIMICA

De acuerdo a los sólidos totales disueltos (STD) y las concentraciones máximas se concluye lo siguiente:

En base a la distribución espacial y de acuerdo a los valles que conforman la zona, las concentraciones máximas se presentan al oriente y las mínimas al poniente, lo que permite inferir que el flujo subterráneo es de oeste al este.

El agua subterránea de la zona es dulce ya que los sólidos totales disueltos (STD) no sobrepasan los 2000 ppm y se debe a que la velocidad del flujo es permanente, por lo que el agua no permanece por tiempo prolongado al contacto con las rocas por las cuales circula.

Con los resultados obtenidos de las muestras seleccionadas y haciendo la comparación con los límites permisibles por la S.S.A. todas las muestras se encuentran dentro de lo permitido para calcio, el 1% no cumple con el límite para el magnesio, el 7% excede el límite del sodio.

En los análisis realizados de los aniones, en los bicarbonatos el 78% excede el límite establecido, por la S.S.A. y del cloro, sulfatos, y carbonatos se encuentran dentro de lo permisible. Por lo tanto en la zona geohidrológica, en general, el agua encontrada es de buena calidad para uso potable ya que en muy pocas ocasiones excede los límites establecidos.

5.4. CALIDAD DEL AGUA

El agua para ser aceptable debe cumplir con ciertas condiciones de calidad respecto a su contenido de caracteres físico-químicos y bacteriológicos y en base al conocimiento de los efectos que pueden causar cada uno de los elementos o en conjunto todos ellos, para darle el uso que se le tenga destinado al agua subterránea, entre estos usos se daran a continuación los siguientes: agua potable, riego, abrevadero e industrial.

5.4.1. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

El método empleado para conocer la calidad del agua para riego, es la clasificación de Wilcox (1948) en el cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS), se obtienen los grupos de agua para riego.

En este proceso interviene la conductividad eléctrica que es el recíproco de la resistencia y proporcional a la concentración de sólidos totales disueltos. Normalmente la conductividad eléctrica se expresa en micromhos por centímetro (mmhos-cm)

La relación de absorción de sodio se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$RAS = Na^{++} / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

donde las concentraciones de Na^{+} , Ca^{++} están dadas en equivalentes por litro. Los valores de CE y RAS son graficados en los diagramas de clasificación.

Valle de actopan La Antigua

El diagrama de Wilcox representativo del valle se muestra en la figura N° 19, donde los aprovechamientos se encuentran en el grupo C2-S1, que corresponden a aguas con contenido medio de sales y baja cantidad de sodio, con lo que es apropiado para el riego en este tipo de suelo y cualquier cultivo.

Valle de Jamapa

De acuerdo al diagrama de clasificación presentado en la figura N° 20, se concluye que el 70% de los aprovechamientos tienen agua de tipo C2-S1 que corresponden a un tipo de agua con contenido medio de sales y baja cantidad de sodio, es apropiado para cualquier tipo de suelo o cultivo. El 24% se clasifica como el tipo C3-S1 que contiene un alto contenido de sal y bajo contenido de sodio y se aplica en suelos arenosos y areno-arcillosos con buen drenaje y además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales, esta zona se encuentra cerca de Boca del Río y al oriente del poblado de las Bajadas donde se encuentran las concentraciones superiores de cloro y sodio que hacen que contenga la contaminación de salinidad.

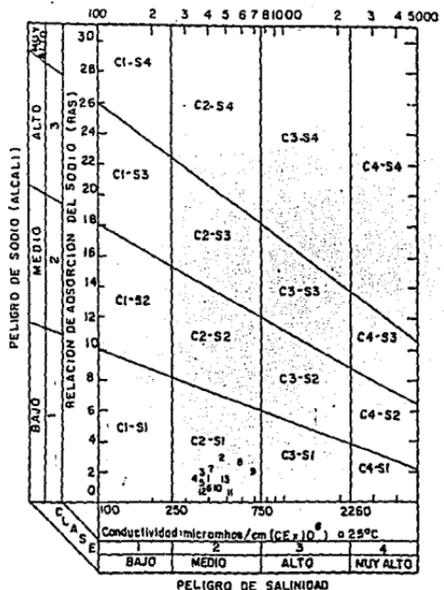
Solamente un aprovechamiento es el que se encuentra en la clasificación C4-S1 que tiene muy alto contenido de sal y bajo contenido de sodio, siendo esta no apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, puede aceptarse bajo las siguientes requerimientos, en suelos muy permeables, drenaje muy intenso y cultivos muy tolerantes a la salinidad. En este caso el agua se aplica en exceso para conseguir un lavado considerable.

Valle de Cotaxtla

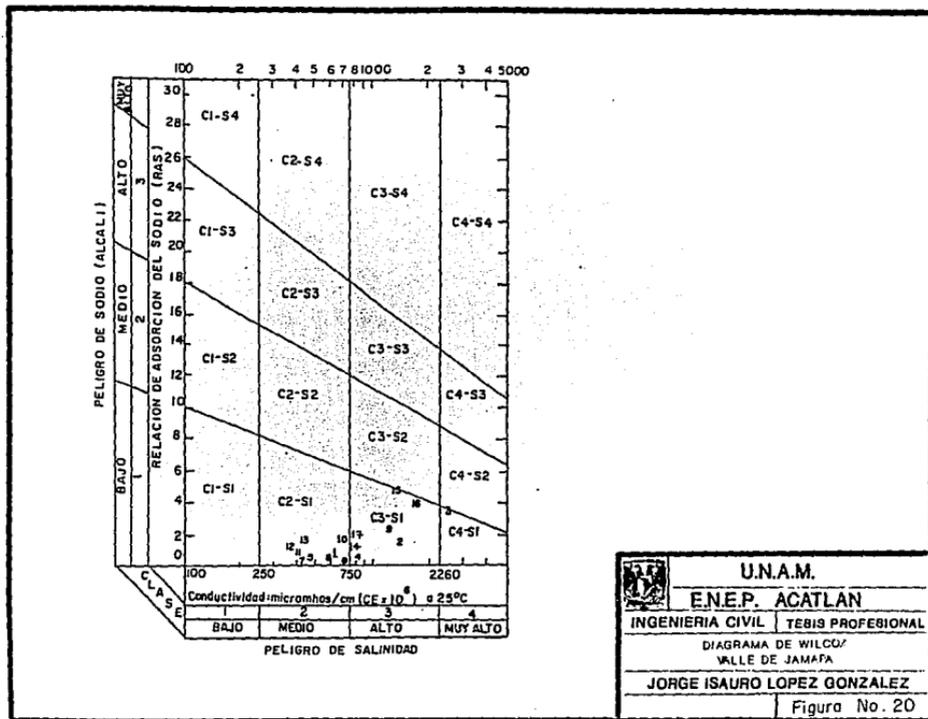
Según los resultados obtenidos del diagrama de Wilcox como se observa en la figura N°21, se encuentra el 65% de las muestras representativas en el grupo C2-S1 que pertenecen a las aguas con contenido medio de sales y baja cantidad de sodio, siendo apropiado para cualquier tipo de suelo, así como cultivo. El aprovechamiento N°9, pertenece al grupo C3-S1 en el que se presenta un alto contenido de sal y bajo en sodio, no podrá usar en suelos de drenaje deficiente y deberán seleccionarse las plantas que se implanten.

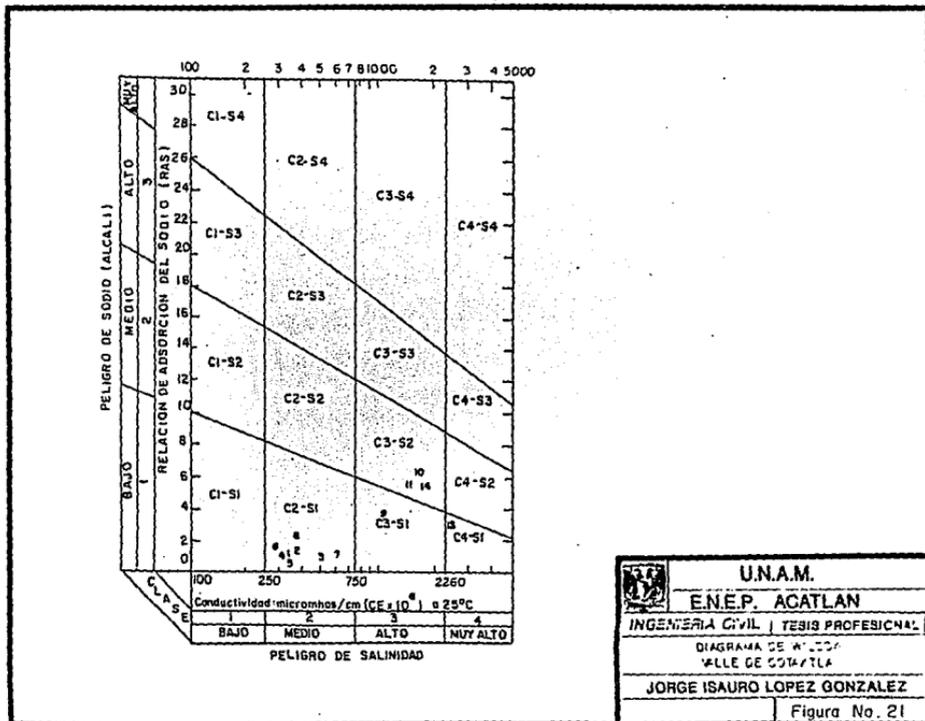
El aprovechamiento marcado con el N°13 que pertenece a la noria N°1731 que se localiza en los alrededores del poblado Tlalixcoyan pertenece al grupo C4-S1, encontrándose muy salina con alto contenido de sodio, no es recomendable para el riego por su contenido de sal, solamente en circunstancias muy especiales con el fin de llevar a cabo un lavado de terreno en el cual se quiera cultivar.

Tres son los aprovechamientos que se agrupan en C3-S2 que presentan alta salinidad y con contenido medio de sodio siendo este último peligroso en suelos de textura fina, esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
DIAGRAMA DE WILCOX	
VALLE DE MOTOPAN-LA ANTIGUA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 19	





5.4.2. CALIDAD DE AGUA PARA USO POTABLE

La calidad del agua potable se determinó en forma parcial con los resultados de análisis químicos, debido a que las características físicas y bacteriológicas no se realizaron en este trabajo. Los límites permitidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.), con referencia a las características químicas del agua, se presentan en la siguiente tabla N° 14.

CARACTERISTICAS QUIMICAS	PORCENTAJE % NO CUMPLE	LIMITE MAXIMO PERMITIDO POR LA S.S.A. (PPM)
CALCIO	---	250
MAGNESIO	1	125
SODIO	7	250
CLORUROS	---	250
SULFATOS	---	250
BICARBONATOS	78	250
DUREZA TOTAL	---	300
S.T.D.	---	1000

TABLA N° 14

En general la calidad del agua subterránea es buena, salvo en las zonas que se encuentran en los alrededores del poblado Tlalixcoyan y al oriente del poblado las Bajadas localizados al sureste de los valles de Jamapa y Cotaxtla.

También en los pozos N° 6, 7 y 8 que se encuentran siguiendo la vía férrea hacia el poniente del puerto de Veracruz presentando alto contenido de cloro, sodio, bicarbonatos clasificándola como agua dura.

5.4.3. CALIDAD DE AGUA PARA ABREVADERO

El agua usada en granjas y ranchos ganaderos, normalmente debe cumplir con, los mismos requisitos que el agua potable ya que es utilizada también para usos domésticos de los ranchos.

Los animales pueden ingerir agua con mayor concentración de sales, y a continuación se describen los límites máximos para algunos animales según Mckee y Wolf (1963), tabla N° 15.

ANIMALES	PPM
AVES	2860
CERDOS	4290
CABALLOS	6430
GANADO LECHERO	7150
GANADO DE CARNE	10 100
BORREGO	10 900

TABLA N° 15

5.4.4. CALIDAD DE AGUA PARA LA INDUSTRIA

El agua que se requiere en la zona industrial que pertenece a los ríos Jamapa-Cotaxtla, depende del tipo de instalaciones utilizadas, y la forma más usual de catalogar el tipo de agua, es conociendo su dureza, en esta se mide la capacidad de consumir jabón o producir incrustaciones.

La dureza se reporta en concentraciones de carbonato de calcio (Ca CO₃), tabla N° 16.

CONCENTRACION EN (PPM)	DESCRIPCION
0-6	AGUA BLANDA
61-120	AGUA MODERADAMENTE DURA
121-180	AGUA DURA
MAS DE 180	AGUA MUY DURA

TABLA N° 16

Las aguas duras son incrustantes y consumen en exceso el jabón dificultando la cocción de los alimentos. Las aguas muy blandas son agresivas y no se recomiendan para beber.

En la tabla N°17, se muestran algunos límites para la industria textil, papalera, embotelladora y derivados del petróleo.

**CALIDAD DEL AGUA PARA ALGUNAS INDUSTRIAS
EN (mg/l)**

ELEMENTO	INDUSTRIA TEXTIL	INDUSTRIA PAPELERA	DERIVADOS DEL PETROLEO	EMBOTE- LLADORAS
Fe	0.10	1.00	1.00	0.30
Mn	0.10	0.50	--	--
Ca	--	20.00	75.00	--
Mg	0.01	--	--	--
Cl	--	200.00	300.00	500.00
HCO ₃	--	--	--	500.00
DUREZA	25.00	100.00	350.00	--
PH	2.5-10.5	6.0-10.0	6.0-9.0	--
S.T.D.	100.00	--	100.00	--

(Por John Hem, 1970)

TABLA No. 17

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

6. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

El principal estudio de este capítulo está basado en el agua subterránea contenida en aquellas formaciones geológicas que proporcionan agua suficiente y de buena calidad, para esto se cuantificarán los recursos subterráneos de agua, en base al proceso de recarga y descarga natural, que intervienen en el ciclo hidrogeológico de la zona.

6.1. PIEZOMETRIA

La piezometría es un apartado esencial del estudio del agua subterránea, se obtiene con la medición de los niveles estáticos, que sufren variaciones a través del tiempo, por causa naturales ó ya sea por la extracción. De ésta forma se obtuvieron los datos de los aprovechamientos (Tabla No. 18 al 21). Es importante señalar que se debe tomar en cuenta la topografía de la zona, los afloramientos geológicos, ríos, lagunas, manantiales y la distribución de pozos, para realizar los planos de profundidad, elevación y evolución del nivel estático.

La información más reciente sobre lecturas de los niveles estáticos son de 1981 a 1987 para la zona geohidrológica. Estos valores que conforman la piezometría corresponden a un mismo acuífero y no a diferentes.

6.1.1. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO

Este parámetro está en función de la topografía del terreno, de la distribución espacial de la recarga, del bombeo y características hidráulicas del acuífero, permite obtener la ubicación favorable de las captaciones y el nivel al que se encuentra el agua. La configuración de igual profundidad al nivel estático, es mostrada en el plano No. 8.

En el valle de Actopan - La Antigua, en general se tienen profundidades entre 5 y 15 metros, observándose que en la mayor parte del área configurada se tiene una profundidad de 10 metros, o incrementándose a medida que la topografía aumenta en altitud.

La profundidad del agua subterránea en la franja contera es de 5 metros y sigue una línea preferencial a lo largo del litoral, en la zona central se tienen profundidades de 10 m, en los poblados de Zempoala, Cardel, Paso de Ovejas, hacia el

poniente se incrementa hasta 15 metros principalmente en el poblado de Actopan.

En el valle de Jamapa las profundidades someras oscilan entre los 3 y 10 metros, principalmente al poniente del puerto de Veracruz, en algunos casos la profundidad rebasa los 15 metros, localizado al poniente producto de la topografía que va elevando su nivel de terreno natural.

En el valle de Cotaxtla la profundidad al nivel estático varía entre 5 y 50 m, el nivel del agua se encuentra a mayor profundidad en las partes altas en poblaciones como Cotaxtla y Soledad de Doblado y por otra parte al sur-este de la laguna Mandinga los niveles someros se encuentran en las norias que se localizan cerca del poblado de Piedras Negras, como se aprecia en el plano No. 8.

6.1.2. ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO

Se elaboró con la profundidad al nivel estático de los aprovechamientos y el acotamiento de los brocales del mismo, en metros sobre el nivel del mar, es decir, la diferencia de altitud entre el nivel de brocal y profundidad del agua, la configuración de igual elevación del nivel estático se muestra en el plano No. 9, es importante señalar que también se representa gráficamente la dirección natural del flujo subterráneo.

En el valle de Actopan - La Antigua en base a la configuración de igual elevación del nivel estático en octubre de 1987 se observa que el flujo subterráneo tiene un sentido en dirección al oriente presentando un gradiente hidráulico medio de 0.0013 lo cual indica una pendiente suave.

En el valle de Jamapa de acuerdo a la configuración de igual elevación del nivel estático se presentan las más elevadas, alcanzando 50 y 40 msnm, la dirección del flujo es hacia el oriente, tiene un gradiente hidráulico promedio de 0.00225 el cual se considera ser de forma suave.

En el valle de Cotaxtla en base a la configuración de igual elevación del nivel estático la dirección del flujo subterráneo es al oriente, las elevaciones alcanzan 40 msnm en las partes altas del valle y descienden hasta 10 msnm al oriente, se presenta un gradiente hidráulico promedio de 0.0014 de forma suave y prolongada.

6.1.3. EVOLUCION DEL NIVEL ESTATICO

La evolución del nivel estático, está en función de las extracciones del bombeo, del cual se derivan las variaciones de almacenamiento del agua subterránea.

En el plano N° 10, el valle de Actopan-La Antigua ha tenido abatimientos del orden de -1 metro en la parte central, esto es en promedio 12.5 cm/año, representa un descenso paulatino, debido a las captaciones que son aprovechadas para la agricultura. En la parte oriente en los alrededores del poblado Ursulo Galvan se encuentran valores de cero 0, esto provocado por los niveles piezométricos someros que se recargan más fácilmente.

En el valle de Jamapa se presentan abatimientos de -2 y -3 metros, en la parte oriente cerca del puerto de Veracruz los abatimientos más representativos son en la parte central, cerca del poblado Manlio Fabio Altamirano con un valor de -5 metros.

El valle de Cotaxtla se tienen abatimientos de -1 metro en el poniente de la zona y en la parte central de -5 metros, por otra parte cerca del poblado de Cotaxtla se encuentra una zona de recuperación de +2 metros, consecuencia de la cercanía de los ríos Cotaxtla y Jamapa.

6.2. USO DEL AGUA SUBTERRANEA

La extracción del agua subterránea tiene diferentes usos, dependiendo de las necesidades del lugar que lo demande, es por esto, que es importante definir la cantidad de aprovechamientos que se encuentran trabajando, de esta forma solamente se trataran los valles que se encuentran en la planicie costera donde se encontraron 216 pozos y 775 norias.

Valle de Jamapa

En esta zona se censaron 476 aprovechamientos de los cuales 27 se encontraron inactivos y los 449 restantes tienen una capacidad promedio instalada superior a los 3 m³/seg, de los cuales 21 son para la agricultura, 399 son de agua potable y 29 es de uso industrial, por lo que en este valle la mayoría de los aprovechamientos son destinados a usos domésticos, pero de donde se extrae un mayor volumen de agua es el industrial como se puede observar en la tabla N°22, estos datos obtenidos son el resultado del censo realizado por la residencia de geohidrología de zonas áridas en el año de 1981.

Valle de Cotaxtla

Los aprovechamientos que se censaron suman un total de 574 de los cuales 51 se encontraban inactivos y 523 permanecen de los cuales 38 están destinados a uso agrícola, 422 a uso doméstico y solo 10 están destinadas para las industrias estimando una capacidad mínima instalada de 1.1 m³/seg. De la tabla N°23, se puede notar que el volumen de extracción es mayor en el doméstico y de abrevadero que en todos los demás.

Valle de Actopan-La Antigua

En esta zona el total de los aprovechamientos es de 88 de los cuales 19 son de uso agrícola, 49 son de tipo doméstico y 4 son destinados a la industria, aunque son mayor en número los aprovechamientos de uso doméstico, el agrícola sobrepasa en volumen (tabla N° 24), puesto que en esta región se da con facilidad la vegetación y el cultivo.

6.3. EXTRACCION ACTUAL

Con el apoyo de la gerencia estatal de Veracruz de aguas subterráneas, se obtuvieron los datos de extracción en los valles enclavados en la planicie costera, donde sobresale, el valle de Jamapa con un total de 609 aprovechamientos, de los cuales 254 son pozos y 355 norias, con una extracción total de 148.60 millones de metros cúbicos anuales (Mm³/año).

Para el valle de Cotaxtla se tienen 476 aprovechamientos de los cuales 42 son pozos profundos y 434 son norias alcanzando un volumen extraído de 15.71 Mm³/año.

En el valle de Actopan-la Antigua, el volumen de extracción es de 44.5 y 104.0 Mm³/año, respectivamente como se muestra en la tabla N° 25 de cada valle su uso y volumen que le corresponde.

PIEZOMETRIA

VALLE DE JAMAPA

ORR NO	ELEV. BROCAL	PROP. AL N.E. OCT. 81	ELEV. DEL N.E. OCT. 81	PROP. AL N.E. OCT. 87	ELEV. DEL N.E. OCT. 87	ELEV. DEL N.E. 81-87
7-N	3.03	6.35	-3.31	3.46	-0.42	-2.89
29-N	13.25	7.85	5.4	8.37	4.88	-0.92
31-P	21.24	13.95	7.29	14	7.24	-0.05
36-N	12.11	7.5	4.61	6.65	5.46	0.85
43-N	18.28	11.9	6.36	10.9	7.36	1.00
48-N	17.69	9.4	8.29	9.00	8.69	0.4
76-P	45.43	28.2	17.23	26.74	18.69	1.46
85-N	34.93	4.15	30.78	5.06	29.87	-0.91
102-N	12.5	4.2	9.48	4.79	7.71	-1.77
106-N	14.00	3.3	10.7	4.44	9.56	-1.14
129-P	39.29	15.07	24.23	20.01	19.28	-4.95
131-N	35.9	15.2	210.7	15.59	20.31	-0.39
158-N	27.66	12.6	15.6	11.6	16.06	0.46
163-P	16.13	2.52	13.62	3.39	12.784	-0.88
189-N	20.96	13.18	7.79	13.05	7.91	0.12
212-N	23.31	6.39	16.92	6.91	16.4	-0.52
222-N	18.96	5.46	13.56	6.97	11.99	-1.57
234-N	23.47	10.68	12.79	12.58	10.89	-1.9
246-P	19.46	6.00	13.45	9.7	9.76	-3.6
261-P	16.9	7.52	9.38	9.42	7.48	-1.9
274-N	9.46	2.36	7.1	3.12	6.34	0.76
385-N	18.6	6.88	11.72	6.4	12.4	0.68
387-N	11.2	7.6	3.6	8.44	2.76	-0.84
392-N	18.42	8.72	9.7	9.13	9.29	-0.41

TABLA No.18

PIEZOMETRIA

VALLE DE JAMAPA

OBRA	ELEV.	PROP. AL	ELEV. DEL	PROP. AL	ELEV. DEL	ELEV. DEL
No.	BROCAL	N.E. OCT. 81	N.E. OCT. 81	N.E. OCT. 87	N.E. OCT. 87	N.E. 81-87
407-N	9.6	1.75	7.85	3.75	5.85	-2
412-P	5.67	3.13	2.57	6.69	-1.3	-1.28
431-P	11.2	9.9	1.3	10.68	0.52	-0.78
463-P	14.07	13.3	0.77	14.44	-0.37	-1.14
496-P	66.07	46.12	19.95	42.15	23.92	3.97
364-N	58.72	24.79	33.93	25.16	33.56	-0.37
300-N	57.18	35.1	22.08	36.05	21.13	-0.95
302-N	24.17	5.42	18.75	17.1	17.07	-1.68
309-P	51.44	24.43	29.4	28	23.44	-5.46
316-N	31.62	10.98	20.64	11.1	20.52	-0.12
319-N	23.93	8.07	15.86	9.25	14.68	-1.18
323-N	32.6	7	25.6	10.12	22.48	-3.12
356-N	61.2	24.13	37	23.4	37.72	0.72
360-N	93.25	39.62	53.63	38.62	54.63	1
361-N	191.73	74.84	116.89	73.91	117.82	0.93

TABLA No.19

PIEZOMETRIA

VALLE DE COTAXTLA

OBRA	ELEV.	PROP. AL	ELEV. DEL	PROP. AL	ELEV. DEL	ELEV. DEL
NO.	BROCAL	N.E. OCT. 81	N.E. OCT. 81	N.E. OCT. 87	N.E. OCT. 87	N.E. 81-87
1179-N	12.22	4.81	8.04	6.51	5.781	-2.33
1400-N	10.92	2.31	8.61	4.5	6.42	-2.19
1524-N	65.08	31.94	33.14	31.93	33.15	0
1512-N	37.66	9.19	28.47	13.82	23.84	-4.63
1303-N	20.85	9.02	11.83	10.12	10.73	-1.1
1320-P	10.72	3.42	7.3	5.85	4.85	-2.45
1568-N	14.86	2.36	12.5	3.92	10.94	-1.56
1697-P	63.56	51.4	12.16	51.31	12.25	0.09
1712-P	35.91	22.38	15.53	23.48	12.43	-1.11
1729-N	8.43	1.6	6.83	1.56	6.87	0.04
1641-N	20.71	6.71	14.00	7.96	12.75	-1.25
1623-N	27.67	13.12	14.55	13.5	14.17	-0.38
1545-P	80.5	43.6	36.9	43.5	36.99	0.09
1592-N	60.88	28.29	32.6	27.99	32.89	0.29
1721-N	15.00	5.24	9.77	5.92	9.09	-0.68
1682-P	24.12	12.65	11.47	12.85	11.27	-0.2
1502-N	15.71	1.9	13.81	3.29	12.42	-1.39
1512-N	37.66	9.19	28.47	13.82	23.84	-4.63
1534-N	56.33	34.97	21.36	35.94	20.34	-0.97
1465-N	98.24	42.03	48.21	39.61	50.63	2.42
1274-N	7.11	4.08	3.03	5.71	1.41	-1.63
1254-N	6.17	1.4	4.77	6.17	0.01	-4.77

TABLA No.20

PIEZOMETRIA

VALLE DE ACTOPAN – LA ANTIGUA

OBRA No.	ELEV. BROCAL	PROP. AL N.E. OCT. 81	ELEV. DEL N.E. OCT. 81	PROP. AL N.E. OCT. 87	ELEV. DEL N.E. OCT. 87	ELEV. DEL N.E. 81-87
54-N	7.2	2.83	4.37	3.6	3.42	-0.95
40-P	7.12	6.1	1.02	5.85	1.81	0.79
21-P	23.08	6.31	16.78	10.6	12.48	-4.3
14-P	25.64	12.9	12.74	13.61	12.02	-0.72
15-P	37.87	14.9	22.98	15.87	19.5	-0.348
26-P	29.88	11.38	18.5	12.08	17.79	-0.71
29-N	16.05	1.8	14.25	3.4	12.64	-1.64
2-P	6.13	4.6	1.53	5.85	0.28	-1.25
6-P	7.07	2.11	4.96	1.79	5.28	0.32
7-P	12.65	7.52	5.13	7.88	4.68	-0.45
12-P	23.27	5.68	17.59	4.75	18.52	0.93
18-P	19.37	10	9.31	10.69	8.62	-0.69

TABLA No.21

VOLUMEN DE EXTRACCION
VALLE DE ACTOPAN – LA ANTIGUA

USO	No. DE APROVECHAMIENTOS POZOS	NORIAS	OTROS	VOLUMEN ANUAL (Mm3)
AGRICOLA	18	1		5.84
AGUA POTABLE	25	--		3.69
INDUSTRIAL	4	--		2.64
DOMESTICO Y ABREVADERO MANANTIALES	1	23		28.5
TOTAL	48	24		12.2

TABLA No. 24

VOLUMEN DE EXTRACCION
VALLE DE JAMAPA

USO	No. DE APROVECHAMIENTOS POZOS	NORIAS	OTROS	VOLUMEN ANUAL (Mm3)
AGRICOLA	21	--		4.37
AGUA POTABLE	54	4		12.61
INDUSTRIAL	25	4		5.82
DOMESTICO Y ABREVADERO	32	309		73.72
MANANTIALES			2	0.49
TOTAL	132	24	2	97

TABLA No. 22

**VOLUMEN DE EXTRACCION
VALLE DE COTAXTLA**

USO	No. DE APROVECHAMIENTOS POZOS	NORIAS	OTROS	VOLUMEN ANUAL (Mm ³)
AGRICOLA	24	14		6.4
AGUA POTABLE	6	2		1.6
INDUSTRIAL	6	4		1.6
DOMESTICO Y ABREVADERO		414		70.4
MANANTIALES				
TOTAL	36	434		80

TABLA No. 23

VOLUMEN DE EXTRACCION ACTUAL EN LA ZONA ESTUDIADA

CIUDAD	ACTOPAN	LA ANTIGUA	JAMAPA	COTAXTLA
USO	(Mm3)	(Mm3)	(Mm3)	(Mm3)
AGRICOLA	10.8	25.4	36.3	10.2
PUBLICO - URBANO	22	51.3	73.4	3.1
INDUSTRIAL	11.7	27.3	38.9	2.5
TOTAL	44.5	104	148.6	15.8

(Mm3 SON MILLONES DE METROS CUBICOS)

TABLA No. 25

6.4. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

El coeficiente de trasmisividad "T"

Es la capacidad del acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor, multiplicando la permeabilidad (k) por el espesor saturado del acuífero (B).

$$T = kB$$

La forma de obtener la trasmisividad de los acuíferos y así determinar su conductividad hidráulica es en base a pruebas de bombeo como se observa en las 8 pruebas correspondientes a las figuras N°24-31, distribuidas en los valles de toda la zona de estudio, en etapas de recuperación y Abatimiento.

"k" Conductividad Hidráulica (permeabilidad)

La permeabilidad K que es sin duda un parámetro que mide la capacidad de una capa acuífera para conducir el agua o sea la facilidad que tiene el agua para moverse a través de los canales conductos que conforman los poros.

Se define como el caudal que pasa a través de una sección transversal unitaria de acuífero, bajo un gradiente hidráulico unitario a la temperatura predominante del agua.

Se determina por medio de pruebas de laboratorio (parámetros de carga constante y carga variable) o con pruebas de campo (pozos de bombeo), como se observa en la tabla N°26, donde se aprecia que bajo la profundidad total del pozo y de acuerdo al nivel estático del agua se obtiene el espesor.

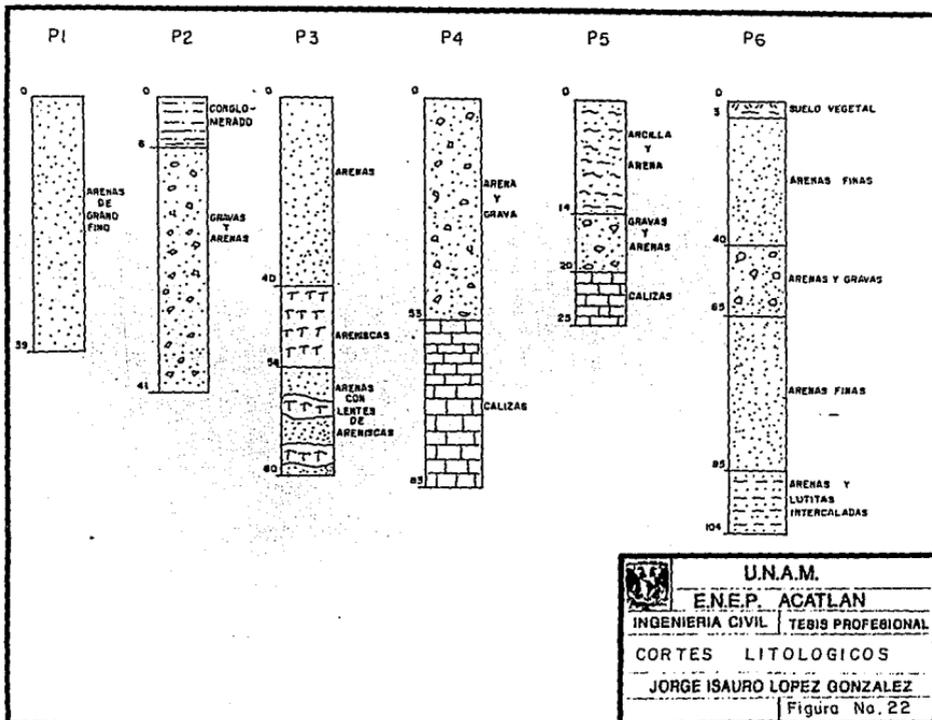
Prof. total - Prof. del N.E. = B

donde:

$$k = T/B$$

Coeficiente de almacenamiento (S)

Es el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de altura igual al espesor del mismo y de sección unitaria al disminuir la presión en una unidad.



	U.N.A.M.	
	E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL	
CORTES LITOLÓGICOS		
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ		
Figura No. 22		

El coeficiente de almacenamiento que se toma para este análisis es de 0.01 de acuerdo a la litología que se presenta en la zona geohidrológica, donde generalmente se encuentran los materiales granulares del terciario reciente poco compactos mostrados en los cortes litológicos de la figura N° 22.

6.4.1. PRUEBAS DE BOMBEO

Este es el parámetro más significativo del volumen de descarga de aguas subterráneas, como se mostro anteriormente en el censo de pozos donde el volumen total de extracción, tiene una influencia significativa en el volumen total.

El dato importante es el caudal de extracción que se conoce con la ayuda del aforo de los pozos. A continuación se mencionan los dispositivos más utilizados en la medición del caudal que circula por un tubo.

a) Medición con recipientes

Consiste en medir el tiempo que tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. El error que se puede conocer en la medición del tiempo a lo sumo es de 1 seg. por lo tanto si el error máximo es de 5% del recipiente a emplear no se debe llenar antes de 20 seg., por el caudal a medir.

esto es:

cubos de 20 litros hasta caudales de 1 lt/seg.
barriles de 200 litros hasta caudales de 200 lt/seg.

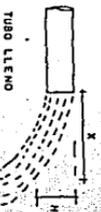
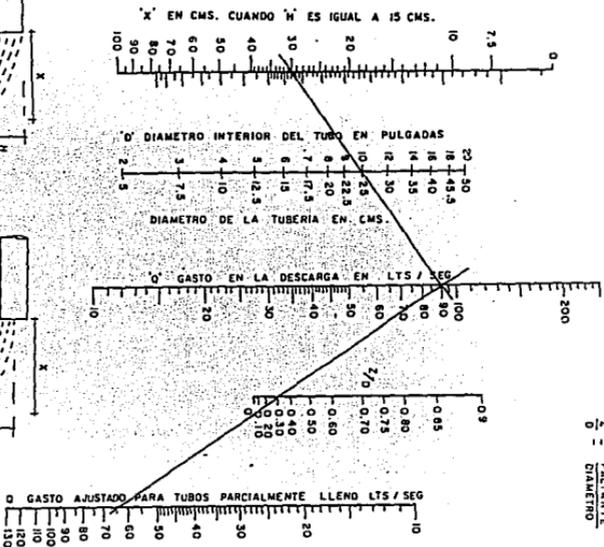
La estimación individual en pozos que tienen un volumen poco significativo (pozos no equipados o equipados con bombas de diámetro menor de 2"), se estima en forma global.

b) Método de tubería horizontal

Es el aforo de pozos con tubo de descarga horizontal de sección parcial o totalmente llena y con caída libre en el extremo del tubo, se miden las distancias horizontal y vertical desde el extremo del tubo hasta un punto dado en el centro del chorro como se muestra en la figura N° 23.

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL CAUDAL A TRAVES DE UN TUBO

$\frac{1}{2}$ = FALTANTE
DIAMETRO



$D = 25$ cm (10")
 $A = 30$ cm
 $H = 15$ cm
 $Z/D = 90$ 1/5



$D = 25$ cm (10")
 $A = 30$ cm
 $H = 15$ cm
 $Z = 7.5$ cm
 $Z/D = 7.5 / 25 = 0.30$
 $Q = 0.5$ 1/5

Figura No 23

La tubería de descarga debe ser recta por lo menos de una longitud de 1.5 metros de modo que el extremo de salida se tenga esa distancia de algún codo, doblez o válvula próxima.

El nomograma para calcular el caudal a través de un tubo se observa en la figura N° 23.

El tubo parcialmente lleno se debe medir el faltante de la sección (Z) y de acuerdo a la relación siguiente:

$$\frac{Z}{D} = \frac{\text{Faltante}}{\text{Diámetro}}$$

Se calcula y así trazar la recta que defina el gasto ajustado para tubos parcialmente llenos en litros/segundos.

Al obtener las pruebas de bombeo en campo se grafican los datos de abatimiento o recuperación contra el tiempo de donde se puede obtener el valor de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento y al no tener pozo de observación no se contara con el resultado de este último para estas pruebas.

Interpretación de las pruebas de bombeo.

Método de Jacob

Es un método muy sencillo para la interpretación de pruebas, el cual está representado por la siguiente expresión:

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

donde:

$$T = \frac{0.183 Q}{As} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (1) \quad \text{cuando } t_2 = 10t_1 \quad T = \frac{0.183 Q}{As} \quad (2)$$

Este método gráfico consiste en lo siguiente:

- a) Construir la gráfica de abatimiento (en escala aritmética) contra el tiempo (en escala logarítmica).
- b) Pasar 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 ($T < 5R^2 ST$) para los cuales no es válida la fórmula de Jacob.
- c) Si $t_2 = 10t_1$ se utiliza la fórmula (2) para obtener el valor de transmisividad, de lo contrario se utilizará la fórmula (1).
- d) Determinar el valor de T , t , para la prolongación de la recta de ajuste, intersección de la línea de abatimiento nulo.
- e) Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la fórmula:

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

Con la interpretación de dichas pruebas se obtuvo la transmisividad (T), la cual está definida, por el producto de la conductividad hidráulica (k) y el espesor del acuífero (b). Los resultados obtenidos en las pruebas, muestran valores bajos de transmisividad, lo cual indica la existencia de acuíferos de tipo libre en las zonas geohidrológicas (tabla N° 26).

La transmisividad se obtiene de la siguiente expresión:

$$T = \frac{0.183 Q}{s}$$

donde:

T = transmisividad
Q = caudal representativo
s = coeficiente de almacenamiento

Aunque se tienen pocas pruebas se puede decir que entre los ríos Jamapa y Cotaxtla se tienen caudales específicos y conductividad hidráulica, mayores que en otras regiones dentro de estos valles que sobrepasan hasta en diez veces las otras pruebas, considerándose un tipo de material permeable y productor de la zona de estudio.

Los valores de trasmisividad para el valle de Cotaxtla varían con valor mínimo de 1.58×10^{-3} m²/s y máximos de 51.86×10^{-3} m²/s, en promedio de los cuales en su etapa de abatimiento y recuperación se puede observar en la tabla N° 21.

Los valores menores de conductividad hidráulica se observan sobre la margen derecha del río Cotaxtla entre 0.12 y 0.27×10^{-3} m²/s en los alrededores de Soledad de Doblado.

6.5. RECARGA Y DESCARGA DE LOS ACUIFEROS

En la zona de estudio la lluvia es abundante, en la cuenca del río Actopan se tiene una precipitación media anual de 1300 mm, en los alrededores de la población de Teocelo, se tienen valores medios que sobrepasan los 2100 mm por año, localizado en la porción occidental y representa al igual que en las estribaciones del volcán Cofre de Perote la principal zona de recarga.

La zona donde cae con mayor abundancia la lluvia es la parte occidental de la cuenca de los ríos Jamapa y Cotaxtla, con un valor constante de 1600 mm/año, originándose los mejores afluentes superficiales como el río Jamapa donde su recarga principal es en la Sierra Madre del Sur, a través de las calizas y yesos con desarrollo cárstico, situado cerca de la ciudad de Córdoba.

Es importante tener en cuenta que en la zona de Jamapa-Cotaxtla, la mayor recarga se obtiene de la distribución al poniente y de la fusión de la nieve que se encuentra en las partes bajas del volcán Pico de Orizaba, ya que en estos macizos suelen originarse grietas y fisuras producidas por la cársticidad, penetrando el agua fácilmente.

La descarga natural del agua subterránea pertenece en gran parte al flujo base de la corriente superficial produciendo un descenso natural por drenaje del sistema del acuífero.

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

OBRA No.	PROF. m	Q lps	N.E. m	N.D. m	ABAT. m	Cv (Cm/s)	TRANSMISIVIDAD (10 ⁻³ m ² /s)			ESPESOR cm	PERMEABILIDAD (10 ⁻⁹ m/s)
							ABAT.	MEDIA			

VALLE DE JAMAPA

4	100	100	9.64	26.73	17.09	5.85	2.77	2.71	2.74	9.36	0.030
5	100	39	19.82	31.21	11.39	3.42	2.36	1.67	2.31	60.18	0.027
7	100	23	5.52	60.72	55.2	0.42	0.36	0.36	0.36	94.48	0.004
442	110	37	25.37	41.57	16.2	2.3	2.26	2.66	2.56	84.63	0.030
450	120	22	16.34	31.56	15.22	1.5	1.91	1.39	1.65	103.66	0.016
517	110	43	15.67	42.64	26.97	1.6	5.62	1.67	3.56	94.33	0.037
1747	130	78.4	30.06	38.70	6.72	9	9.56	13.66	11.61	99.94	0.116

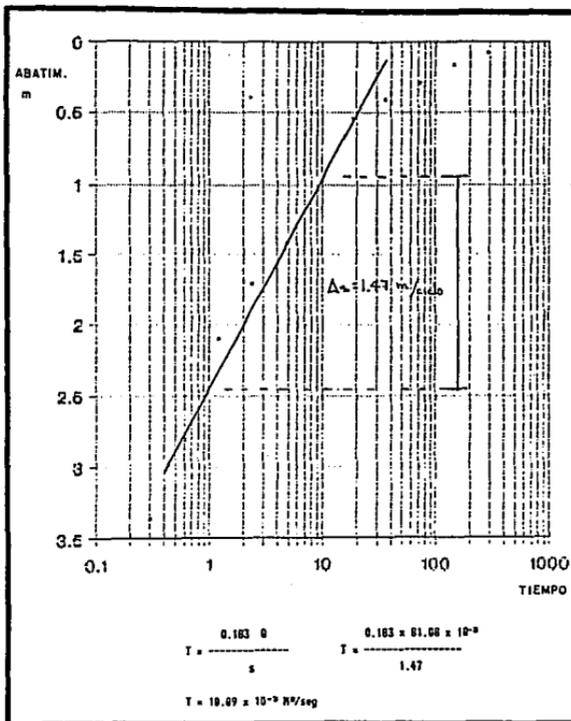
VALLE DE COTAXTLA

1285	110	70.7	6.22	17.96	11.74	6.02	34.95	33.16	34.05	103.78	0.330
1302	33	20.4	12.35	29.4	17.05	1.2	13.84	10.1	11.97	20.65	0.579
1330	130	81.1	2.75	9.12	6.37	12.73	6.45	11.76	9.12	127.25	0.072
1337	150	65.6	19.82	49.95	30.13	2.18	1.62	1.54	1.58	130.167	0.012
1421	110	66.5	17.39	24.07	6.66	9.96	6.11	76.76	6.44	92.61	0.091
1440	100	66.5	21.71	28.2	6.49	10.25	6.82	6.22	6.52	76.29	0.108
1525	100	75.7	40.56	46.45	5.89	12.85	62.97	40.75	51.66	59.4	0.672
1586	120	39.2	39.72	42.32	2.6	15.09	20.51	22.43	21.47	80.77	0.265
1741	107	59.2	5.06	20.92	15.63	3.68	2.42	2.73	2.50	101.91	0.030

VALLE DE ACTOPAN - LA ANTIGUA

A-5	30	7	11.95	18.83	6.80	1.02	6.4		6.4	18.5	0.355
A-14	70	6	11.55	12.9	1.35	4.5		12	12	58.45	0.205
A-16	100	55	20.54	27.79	7.25	7.6		9.77	9.77	79.46	0.122
A-25	100	37	9.15	21.33	12.16	3.04	11		11	90.85	0.121
A-44	80	52	4.27	7.86	3.59	14.5	38		38	75.73	0.502
A-64	80	37	7.75	28	18.25	2.03		1.2	1.2	72.25	0.017
P-2	20	6	4.56	5.36	0.77	7.0		2	2	15.41	0.129

TABLA No.26



POZO 1330 DURACION 8 Hrs
CAUDAL 81.80 lps INICIO 15.45 Hrs

T. Acumulado en 10 ³ seg	Prof al nivel del agua en m	Abatimiento en s
0.00	2.12	-----
0.30	6.13	3.35
0.40	5.57	2.82
1.20	4.25	2.10
2.40	4.46	1.71
4.00	4.10	1.43
9.00	3.79	1.04
18.00	3.30	0.35
36.00	3.16	0.41
72.00	3.05	0.30
144.00	3.92	0.17
288.00	2.83	0.09



UNAM.

E.N.E.P. ACATLAN

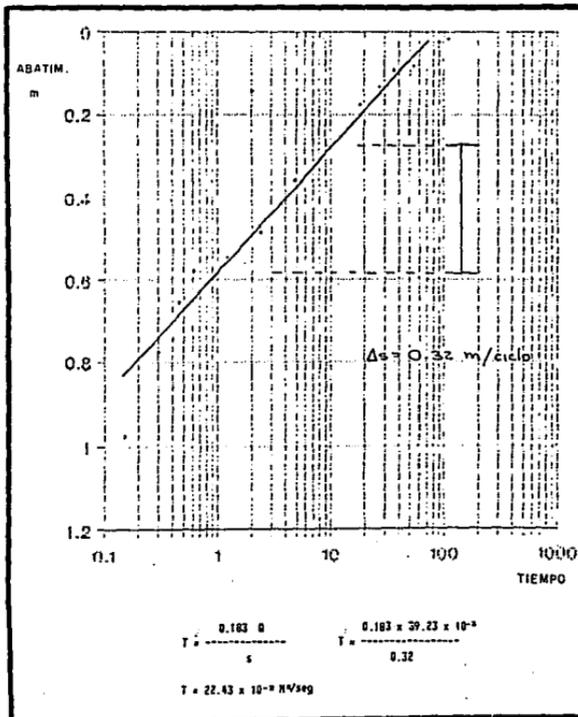
INGENIERIA CIVIL / TESIS PROFESIONAL

PRUEBA DE BOMBEO

APROVECHAMIENTO No. 1330

JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ

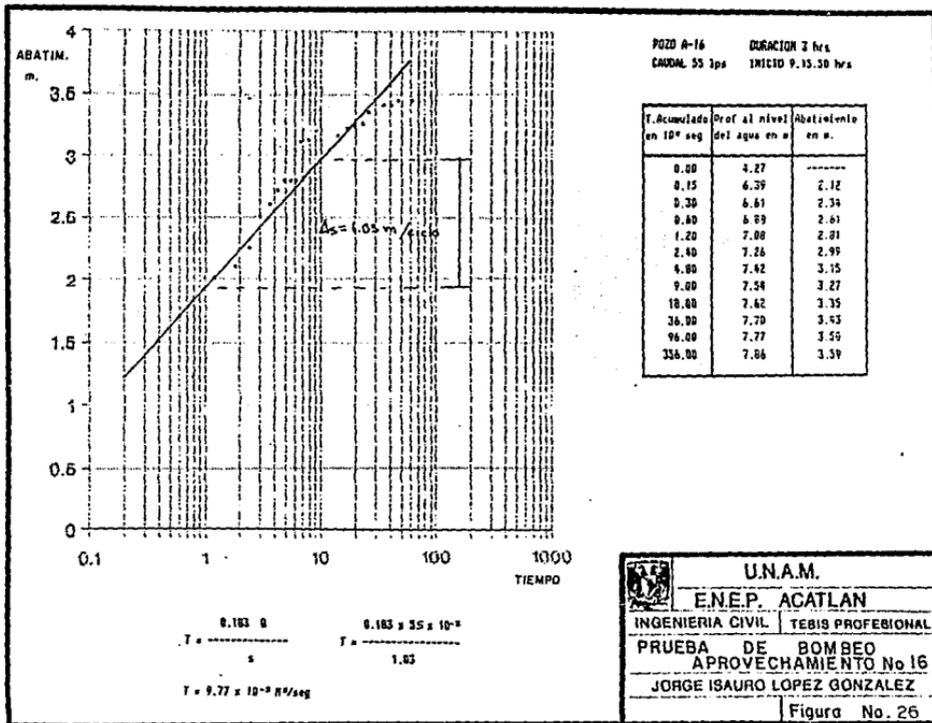
Figura No. 24

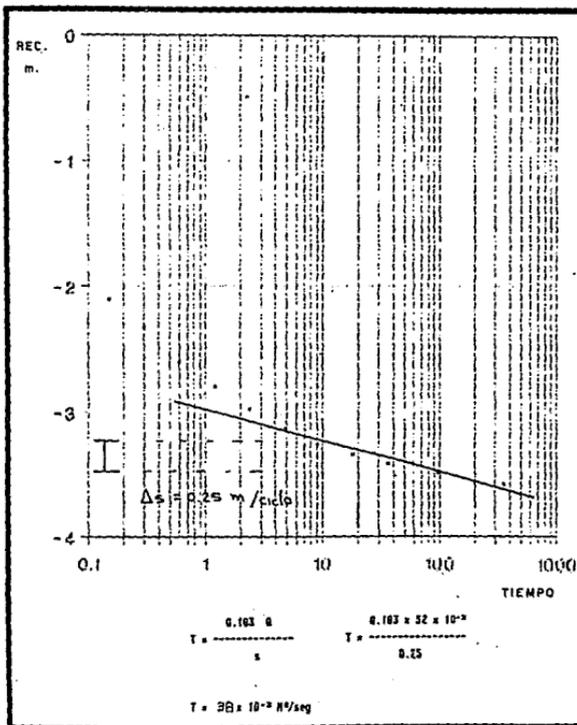


POZO 1586 DURACION 3 hrs
CAUDAL 39.23 lps INICIO 15.30 hrs

T. Acumulado en 10° seg	Prof al nivel del agua en m	Abastecimiento en m
0.00	42.32	-----
0.15	43.70	0.98
0.30	40.50	0.78
0.45	40.38	0.66
0.60	40.30	0.58
1.20	40.27	0.52
2.40	40.21	0.49
4.80	40.09	0.36
9.00	40.00	0.28
18.00	39.93	0.18
27.00	39.86	0.10
54.00	39.81	0.69
90.00	39.75	0.93
106.00	39.74	0.92

	U.N.A.M.	
	E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TECIS PROFESIONAL	
PRUEBA DE BOMBEO		
APROVECHAMIENTO No.1586		
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ		
		Figura No. 25





POZO A-44 DURECCION 6 hrs
CAUDAL 52 lps INICIO 10.50 hrs

T. Acumulado en 10 ² seg	Prof al nivel del agua en m	Recuperación en %
0.00	24.00	-----
0.60	22.30	1.70
1.20	22.00	2.30
1.80	21.70	2.90
2.40	21.75	2.75
3.00	21.50	2.50
3.60	21.40	2.60
4.20	21.30	2.70
4.80	21.22	2.78
5.40	21.22	2.78
6.00	21.22	2.78
6.60	20.90	3.10
7.20	20.90	3.10
7.80	20.90	3.10
8.40	20.85	3.15
9.00	20.85	3.15
9.60	20.80	3.20
10.20	20.80	3.20
10.80	20.75	3.25
11.40	20.75	3.25
12.00	20.60	3.40
12.60	20.54	3.46
13.20	20.56	3.44



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

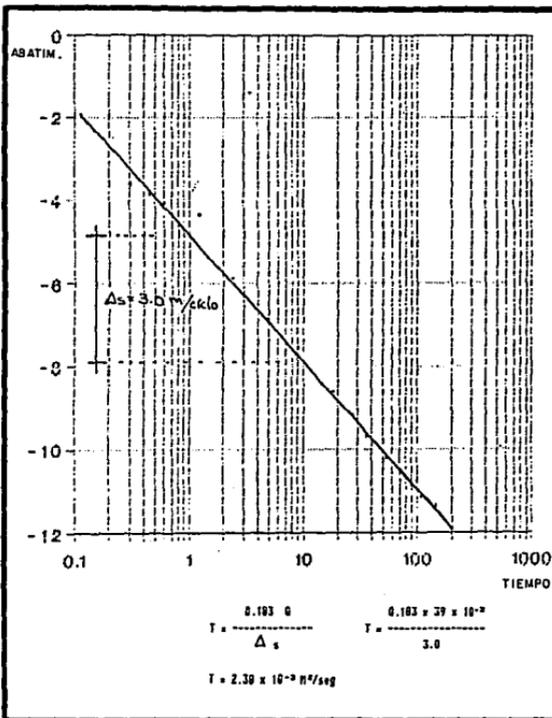
INGENIERIA CIVIL TESIS PROFESIONAL

PRUEBA DE BOMBEO

APROVECHAMIENTO No. A-44

JORGE ISAURO LOPEZ BONZALEZ

Figura No. 27



POZO 5 DURACION 4 hrs
CAUDAL 39 lps INICIO 10.50 hrs

T acumulado en 10 ² seg	Prof al nivel del pozo en m.	Abatimiento en m
0.00	19.82	-
0.15	22.18	2.36
0.30	23.47	3.65
0.45	23.70	3.88
0.60	23.90	4.08
1.20	24.20	4.38
2.40	25.72	5.90
4.80	26.74	6.92
9.00	27.42	7.60
18.00	28.45	8.63
27.00	29.05	9.23
36.00	29.52	9.70
54.00	30.07	10.25
72.00	30.43	10.61
90.00	30.72	10.90
108.00	30.98	11.16
126.00	31.13	11.31
144.00	31.21	11.39



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

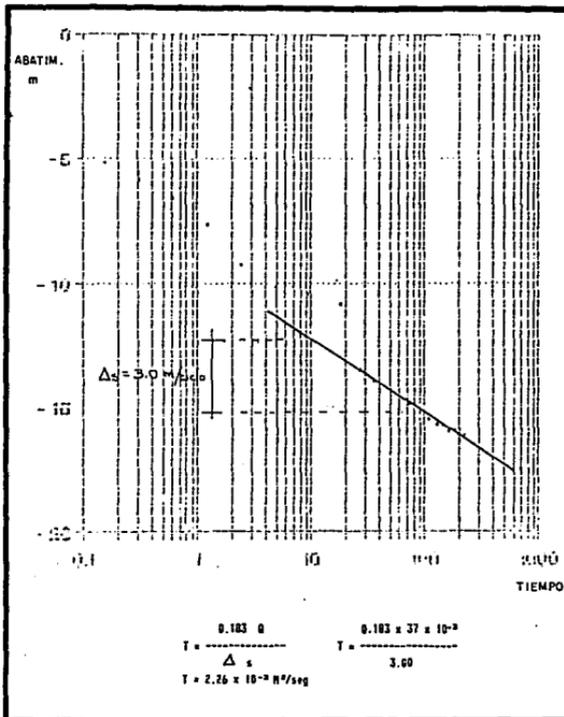
INGENIERIA CIVIL TESIS PROFESIONAL

PRUEBA DE BOMBEO

APROVECHAMIENTO No. 5

JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ

Figura No. 28



POZO 442 DURACION 4 hrs
CAUDAL 37 ips INICIO 16.00 hrs

T Acumulado en 10 ² seg	Prof al nivel del agua en m.	Abatimiento en m
0.00	25.37	—
0.15	30.55	5.18
0.30	31.29	5.92
0.45	—	—
0.60	32.00	6.63
1.20	33.04	7.67
2.40	34.62	9.25
4.80	35.58	10.21
9.00	35.83	10.46
18.00	36.23	10.86
27.00	38.94	13.57
36.00	39.37	14.00
54.00	39.95	14.58
72.00	40.30	14.93
90.00	40.60	15.23
108.00	40.92	15.55
126.00	41.19	15.73
144.00	41.21	15.84
162.00	41.35	15.98
180.00	41.28	15.98
198.00	41.55	16.18
216.00	41.57	16.20



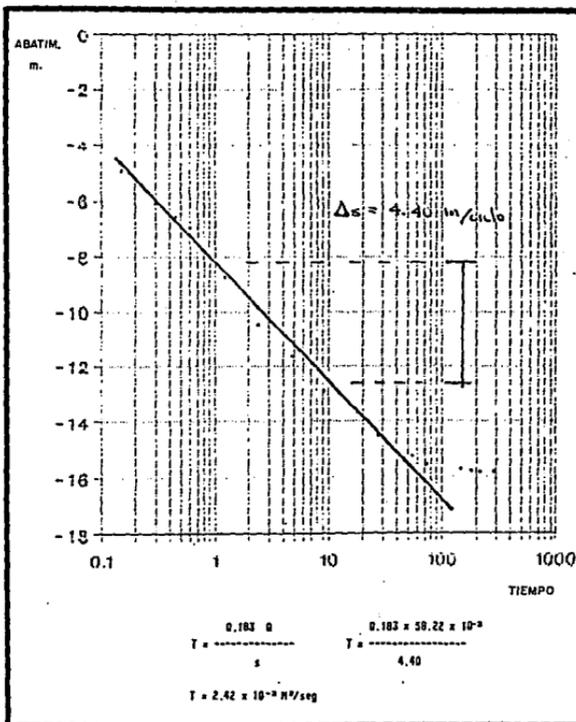
U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL TESIS PROFESIONAL

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 442
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ

Figura No. 3C



POZO 1741 DURACION 8 hrs
CAUDAL 58.22 lps INICIO 3.30 hrs

T. Acumulado en 10 ^a seg	Prof al nivel del agua en m	Abatimiento en m
0.00	5.09	-----
0.15	10.03	4.94
0.30	11.17	6.09
0.45	11.70	6.61
0.60	12.10	7.01
1.20	13.90	8.81
2.40	15.59	10.50
4.80	16.81	11.72
9.00	17.96	12.87
16.00	18.77	13.70
27.00	19.65	14.56
36.00	20.07	14.98
54.00	20.38	15.29
144.00	20.81	15.72
180.00	20.86	15.77
216.00	20.92	15.83
238.00	20.92	15.83



U.N.A.M.

E.N.E.P. ACATLAN

INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

PRUEBA DE BOMBEO
APROVECHAMIENTO No. 1741

JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ

Figura No. 31

6.6. BALANCE GEOHIDROLOGICO

Una de las importancias en este apartado es la fuente de alimentación principal del agua subterránea, que es la infiltración del agua de lluvia en la superficie del suelo, esta renueva el agua de los depósitos subterráneos manteniéndose dentro de los acuíferos. La forma más indicada de cuantificar el potencial de los acuíferos, es utilizando un método que trabaje con todas las variables considerando el agua ya infiltrada y la que se encuentra al margen de los fenómenos que ocurren en la superficie.

El objetivo principal del Balance del agua subterránea es determinar el gasto de recarga de los acuíferos y así poder hacer uso racional del mismo.

La ecuación del balance de agua subterránea se basa en el principio de conservación de la materia escribiéndose de esta forma:

$$\text{RECARGA} - \text{DESCARGA} = \text{CAMBIOS DE ALMACENAMIENTO}$$

Del cual se derivan los siguientes factores:

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

donde:

E_h = Entradas por flujo subterráneo horizontal

R_v = Recarga vertical

S_h = Salida por flujo subterráneo horizontal

B = Extracción por bombeo

E_v = Evapotranspiración

D_n = Descargas naturales

$+ V_s$ = Cambio de almacenamiento

Estos términos expresados en millones de metros cúbicos (Mm³)

FLUJO SUBTERRANEO QUE SALE Y ENTRA (Sh Y Eh)

El flujo subterráneo horizontal se determina al multiplicar el gasto o caudal que circula a través del área transversal de la zona de balance por el periodo de tiempo analizado.

La cuantificación de este balance se realizó mediante la red de flujo, trazada en el plano N°9, elevación del nivel estático, aplicando la ley de Darcy, establece que la velocidad del flujo através de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria del flujo, tabla N° 27.

$$V = K (h/l) ; V = Ki$$

donde:

V = velocidad media del flujo.
K = coeficiente de permeabilidad.
i = gradiente hidráulico.

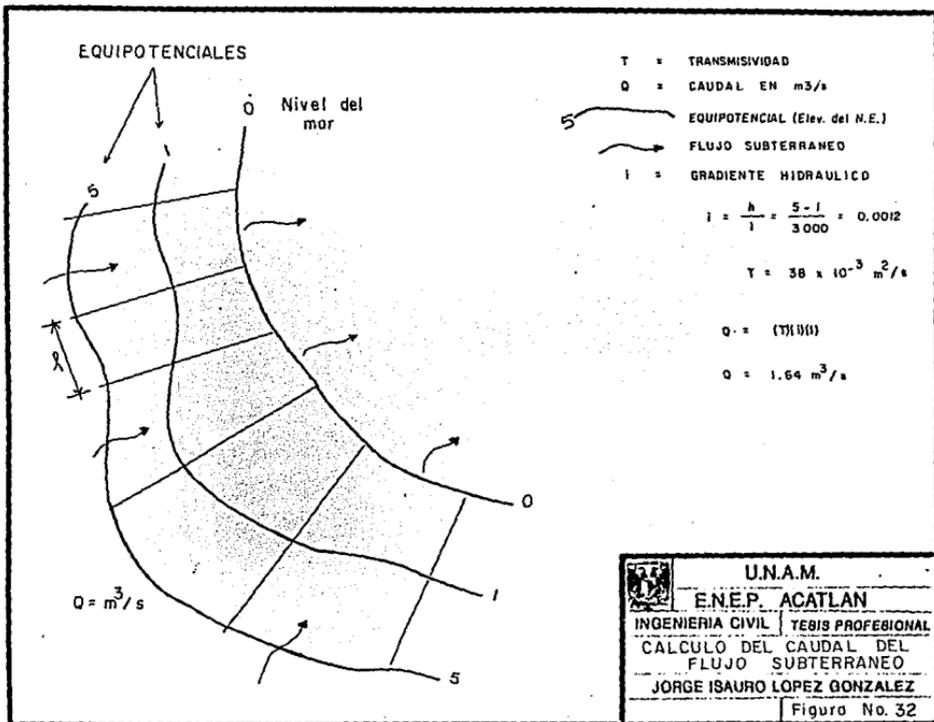
Aplicando la ecuación de continuidad $Q = AV$ y utilizando el concepto de transmisividad $T = KB$, tenemos que:

$$Q = TBi(t)$$

donde:

T = transmisividad
B = ancho del flujo
i = gradiente hidráulico
t = tiempo utilizado para plantear el balance

Las transmisividades utilizadas son las obtenidas en la tabla N°26. En la figura N°32, se ejemplifica la forma de obtener el caudal del flujo subterráneo.



Descargas naturales. (Dn)

Afloran en forma de manantiales o a una corriente superficial, el cual se cuantifica mediante el aforo en las estaciones hidrométricas y reporta el caudal que pasa en las corrientes, obteniendo el flujo base del hidrograma (figura N°33).

CUENCA	ESTACION HIDROMETRICA	AFORO Mm3/año
RIO ACTOPAN	NARANJILLO	391
RIO LA ANTIGUA	CARDEL	68
RIO JAMAPA-COTAXTLA	PASO DEL TORO	147

Para fines de balance solamente se tomará el caudal del flujo base, en las estaciones que se encuentran en la desembocadura de los ríos principales, las cuales son; El Naranjillo, Cardel, Paso del Toro, Totalizando 606 Mm3/año. En la figura N°33 se ejemplifica el flujo base calculado para las descargas naturales, en la estación hidrométrica Cardel con 68 Mm3/año.

Se analizó el hidrograma del periodo 1976-1978 de la estación Cardel situada en el río la Antigua de donde:

La primera recesión tiene $k_1 = 48 \text{ m}^3/\text{s}$ y completa un ciclo de descarga de $k_2 = 10$ meses ciclo logaritmico. El potencial de descarga total (Vtp) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{tp} = (k_1 * k_2) / 2.3$$

$$V_{tp} = (48 \text{ m}^3/\text{s} * 10 \text{ meses}) (2.6E6 \text{ s/mes}) / 2.3$$

$$V_{tp} = 540.93 * 10E6 \text{ m}^3$$

El volumen de agua subterránea descargado durante la recesión real (Vdreal), la cual duro $t_r = 9$ meses tiempo real de la primera recesión. donde:

$$\begin{aligned} V_{dreal} &= ((-k_1 k_2 / 2.3) / 10 t_r / k_2) + (k_1 k_2 / 2.3) \\ V_{dreal} &= (-540.93 * 10E6) / 10 (9/10) + 540.93 * 10E6 \\ V_{dreal} &= 472.83 * 10E6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El FLUJO BASE almacenado en la primera recesión (Vpot rem), volumen potencial remanente:

$$\begin{aligned} V_{pot \text{ rem}} &= V_{tp} - V_{dreal} \\ V_{pot \text{ rem}} &= 540.93 - 472.83 = 68 * 10E6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

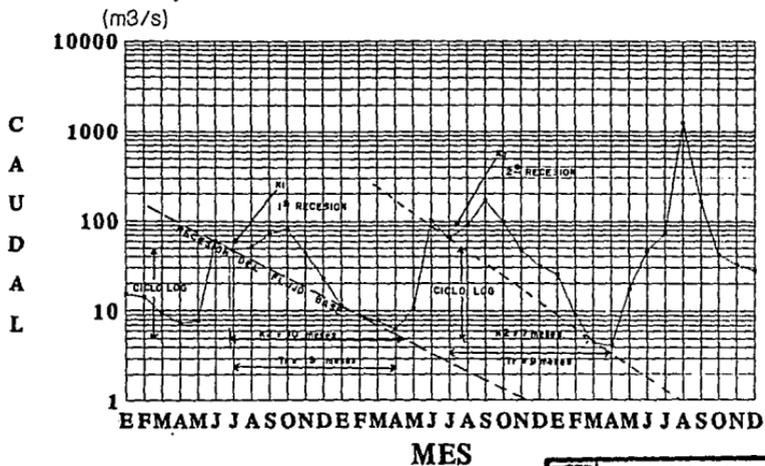
En la segunda recesión el valor inicial $K_1 = 65 \text{ m}^3/\text{s}$ y tiene una duración de $K_2 = 7$ meses. El volumen potencial de descarga (Vtp) es de:

$$\begin{aligned} V_{tp} &= (k_1 * k_2) / 2.3 \\ V_{tp} &= (65 \text{ m}^3 * 7 \text{ meses}) (2.6 * 10E6 \text{ s/mes}) / 2.3 \\ V_{tp} &= 512 * 10E6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

La recarga se obtiene de la diferencia del volumen potencial de descarga (Vpot) de la segunda recesión menos el volumen potencial remanente (Vpor rem).

$$\begin{aligned} \text{RECARGA} &= 512 - 68 \\ \text{RECARGA} &= 444 * 10E6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ESTACION HIDROMETRICA
CARDEL



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TECIS PROFESIONAL
HIDROGRAMA DE LA CORRIENTE	
RIO LA ANTIGUA	
JORGE ISAURO LOPEZ GONZALEZ	
Figura No. 33	

EVAPOTRANSPIRACION (Ev)

Es la pérdida que sufre por efectos de Evaporación y transpiración de las plantas que se encuentran en la zona y depende del tipo y densidad de vegetación, humedad de ambiente y granulometría de los materiales. Es muy importante señalar que el nivel estático debe fluctuar dentro de la zona de humedad de las raíces. En la zona de estudio se encuentran niveles freáticos someros, principalmente cerca de la línea costera y se puede calcular mediante el valor de la evapotranspiración media, conforme al método siguiente:

La forma más práctica de evaluar la evapotranspiración es en base al método de Turc, en el que influye la precipitación y temperatura promedio y se expresa de la siguiente manera:

$$E_{vt} = P^2 / \{0.9 + (p^2/L^2)\}$$

donde:

E_{vt} = Evapotranspiración en mm/año.

P = Precipitación media anual = 1192 mm

L = $300 + 25 t + 0.05 t^2 = 970$

t = temperatura media anual en °C = 25.5 °C

La evapotranspiración promedio de la zona es de 758 mm/año, el área que conforma la zona es de 1482 km².

$$1482 \text{ km}^2 \times 0.768 \text{ m/año} = 1138 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

De la misma forma determinando el área para cada zona geohidrológica y multiplicando por la evapotranspiración promedio se obtiene lo siguiente:

CUENCA	EVAPOTRANSPIRACION Mm3/año
Actopan	170
La Antigua	215
Jamapa-Cotaxtla	753

TOTAL	1138

CAMBIO DE ALMACENAMIENTO V_s

El cambio de almacenamiento es la variación de los niveles piezométricos, se obtiene en base al plano de evolución del nivel estático (plano N°10), con la siguiente ecuación:

$$V_s = nSA$$

donde:

- V_s = Cambio de almacenamiento (Mm3/año)
- n = Evolución piezométrica en (m/año)
- s = Coeficiente de almacenamiento (adimensional)
- A = Area de zona geohidrológica (m2)

En la tabla N°28 se ejemplifica la cuantificación de esta variación por año.

La disponibilidad del agua que se tiene en la zona, se calcula mediante la siguiente expresión:

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

CUENCA	DISPONIBILIDAD Mm3
Actopan	612
La Antigua	285
Jamapa-Cotaxtla	899

Es importante señalar que la disponibilidad del agua en estas zonas geohidrológicas se encuentran subexplotadas. El balance de agua subterránea se obtiene en la zona de Actopan-Cotaxtla, con una recarga vertical de 2114 Mm3 por año.

El cambio de almacenamiento y recarga vertical que resultan del balance de agua subterránea se observa en las tablas N°29 y N°30.

VOLUMEN DETERMINADO POR EL AREA DE BALANCE

CUENCA	AREA (Km ²)	ABATIMIENTO (-) m	Vs / 6 AÑOS VOL. (Mm ³)
	435	1.00	72.5
	23	4.00	15.33
	28	2.50	12
	26	1.50	6.5
	25	1.75	7.33
ACTOPAN		TOTAL	113.66
	324	0.75	40.5
	21	1.50	5.33
	63	1.00	10.5
	97	2.00	32.33
	11	3.00	5.5
	130	1.00	21.67
	9	2.50	3.83
	62	0.75	7.83
LA ANTIGUA		TOTAL	127.49
	9	4.50	6.83
	202	2.75	92.67
	336	1.00	56
	42	2.00	14
	961	0.75	120
	26	1.00	4.33
	45	0.00	0
JAMAPA-COTAXTLA		TOTAL	293.63

Volumen total Vs = 534.98 Mm³ / año

TABLA No.28

BALANCE GEOHIDROLOGICO

CUENCA	S _p (Mm3)	B (Mm3)	E _v (Mm3)	D (Mm3)	AV (Mm3)
ACTOPAN	51.70	44.50	170.00	391.00	113.66
LA ANTIGUA	3.10	104.00	215.00	68.00	127.49
JAMAPA-COTAXTLA	2.56	164.40	753.00	147.00	293.83
TOTAL	57.36	312.90	1,138.00	606.00	534.98

TABLA No. 29

(Mm3 SON MILLONES DE METROS CUBICOS/AÑO)

RECARGA VERTICAL

CUENCA	R _v (Mm3/AÑO)
ACTOPAN	657
LA ANTIGUA	390
JAMAPA-COTAXTLA	1067
TOTAL	2114

TABLA No. 30

CONCLUSIONES

1.- El acuífero más importante es el constituido por depósitos de rocas sedimentarias no consolidadas del terciario, identificados como depósitos de gravas y arenas, que ocupan una buena superficie de la planicie costera, donde aflora esta unidad los acuíferos funcionan como libres, de espesor hasta de 200 metros en la parte central principalmente, en el área de Rinconada y Paso de Varas y donde se encuentran cubiertos en el lecho superior de tobas areniscas y conglomerados compactos funcionan como semiconfinados o confinados.

Otras unidades considerables lo componen las calizas con desarrollo cárstico, situado en las cercanías de la ciudad de Córdoba, que constituye una unidad acuífera de acuerdo al desarrollo de permeabilidad secundaria por disolución.

2.- En general el agua subterránea tiene buena calidad para usos potables y agrícolas, de acuerdo a los resultados de las muestras que se localizan cerca del litoral, no se define ningún indicio de intrusión de agua de mar.

3.- El flujo subterráneo circula hacia el oriente, alimentando la planicie a través de materiales volcánicos y calizas que se encuentran en la porción occidental, donde se recibe la mayor recarga de la precipitación pluvial y los escurrimientos superficiales de la zona.

4.- Los acuíferos se recargan gran parte del año debido a que es una zona altamente lluviosa y la descarga por bombeo no es preocupante por el momento ya que el gran número de aprovechamientos son norias, en donde se extrae una mínima cantidad de agua, utilizada generalmente para uso doméstico. Por lo tanto los acuíferos de esta región se encuentran en un estado de subexplotación. La zona de estudio recibe una recarga total de 2114 Mm³ al año según el balance geohidrológico que se elaboró.

5.- Con las características hidráulicas de los acuíferos y de acuerdo a la litología se ha considerado para fines de balance un coeficiente de almacenamiento de 0.01, que pertenece a acuíferos libres.

6.- La descarga natural de los acuíferos es a través del flujo base del caudal de los principales ríos, el cual suma un total de 606 Mm³/año y la descarga proveniente de manantiales naturales es de 0.4 Mm³/año, por ser los más importantes en la cuenca del río Jamapa; producido por las calizas encontradas al poniente de la zona.

7.- Los niveles estáticos varían de 1.5 hasta 40 metros de profundidad, esta fluctuación se debe principalmente a la topografía del terreno que pertenece a una forma ascendente a razón de que se aleja del nivel del mar, partiendo del nivel cero del mar hacia las partes más altas del valle.

8.- La evapotranspiración en esta zona es alta, debido a la abundante vegetación y a la extensión de los cuerpos de agua, representados por las lagunas Mandinga y San Julián, obteniéndose un total de agua evapotranspirada a partir de los niveles menores de 10 metros con 1138 Mm³/año.

9.- Las oscilaciones presentadas en este estudio para la zona de Actopan-Cotaxtla, se tienen abatimientos de 4.5 y 3 metros, que para el periodo considerado de 6 años, representa un abatimiento de 0.75 y 0.5 metros por año. La zona de recuperación es en forma muy local cerca del poblado de Soledad de Doblado, producto de un buen flujo subterráneo que se presenta al occidente de esta región.

RECOMENDACIONES

1.- Por la importancia de las unidades geológicas en el área de estudio, se recomienda realizar estudios geofísicos en la porción oriental, principalmente en la línea costera con el fin de interpretar mejor la interfase salina.

2.- Realizar pruebas de bombeo de larga duración con pozos de observación para conocer mejor el funcionamiento de los acuíferos y definir la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento en la región que se quiera analizar.

3.- Llevar a cabo un programa de censo de los pozos que se encuentran en la zona, con el fin de tener una historia piezométrica más actualizada con recorridos de cada 6 meses antes y después de la época de lluvia.

4.- Hacer periódicamente el análisis químico de las muestras de agua, principalmente en la zona cercana al poblado de Tlalixcoyan, para no sobrepasar los límites establecidos para agua potable o el uso que se le asigne.

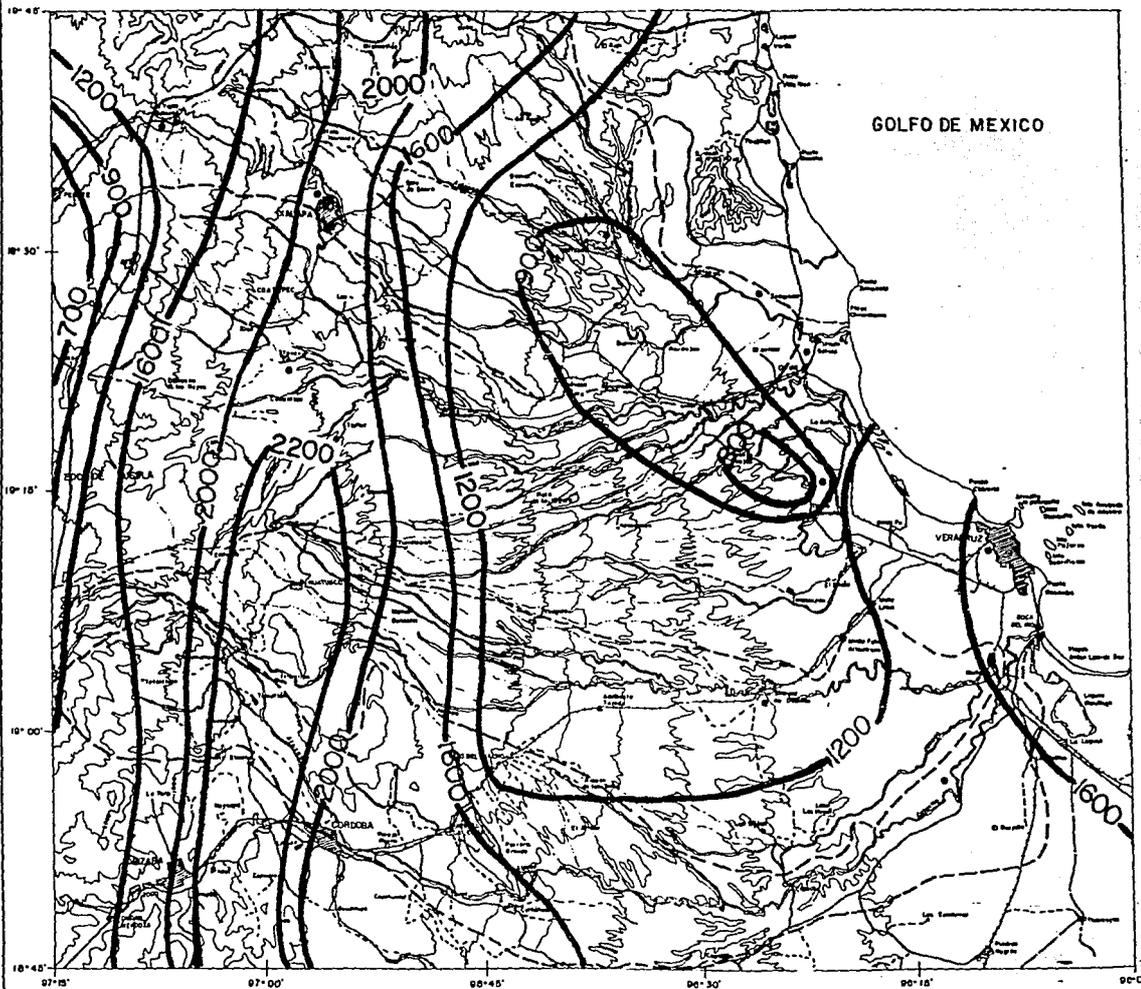
5.- En un futuro se podría canalizar el agua de uso potable para el Puerto de Veracruz de la cuenca de los valles de Actopan-La Antigua, tomando en primera instancia el río San Francisco que desemboca a la Laguna San Julián de tal forma que no perjudique en gran medida el sistema creado por esta laguna.

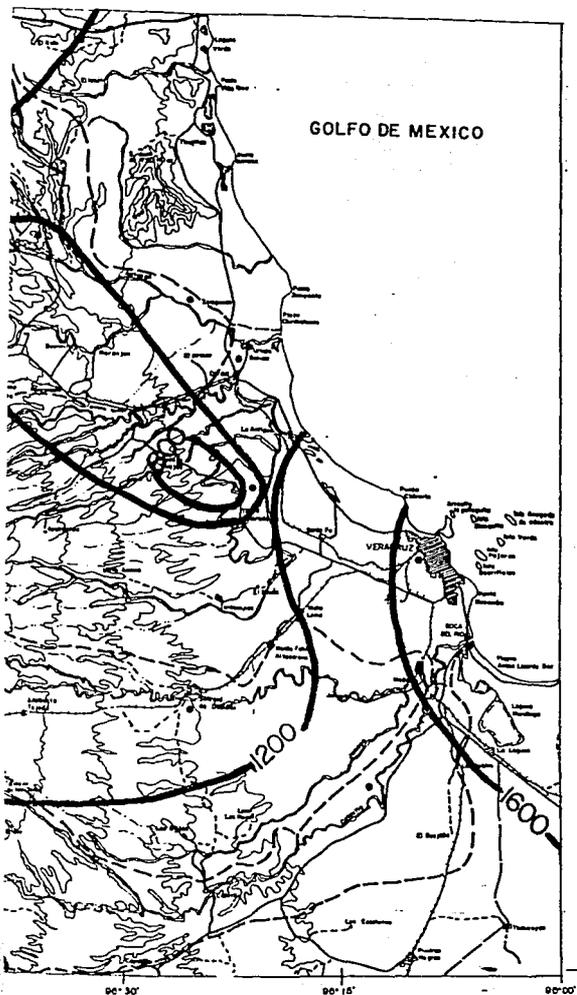
BIBLIOGRAFIA

- Aparicio J. F. 1986 Apuntes de Hidrología de Superficie
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- Tinajero G. A. 1985 Apuntes de Aspectos Fundamentales en el
Estudio de agua subterránea
(Geohidrología) Facultad de Ingeniería,
U.N.A.M. México.
- Linsley y asoc. 1988 Hidrología para Ingenieros, Edit.
McGraw-Hill Segunda Edición México, pp
157-174.
- Inst. de Geol. 1989 Carta Geológica del Estado de Veracruz.
Escala 1 : 500 000 U.N.A.M. México.
- Lesser J. M. 1985 Hidrogeoquímica, División de Educación
Continua Facultad de Ingeniería
U.N.A.M.
- Raiz, E 1964 Provincias Fisiográficas de la
República Mexicana.
- S.A.R.H. 1981 Estudio Geohidrológico de la zona de
Actopan, Estado de Veracruz, México.
- S.A.R.H. 1981 Estudio Geohidrológico de la zona de
Jamapa, Estado de Veracruz, México.
- S.A.R.H. 1980 Estudio Geohidrológico de la zona de
Cotaxtla, Estado de Veracruz, México.

A N E X O

GOLFO DE MEXICO





CROQUIS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERRACENA	-----
PERROCARRAL	+++++++
LIMITE ESTATAL	-----
PUENTE	—————
POBLADO	■
CURVA DE NIVEL EN MTS.	—————
CURVA A CADA 100 MTS.	—————
RIO	~~~~~
ARROYO	~~~~~
LAGUNA	~~~~~
LIMITE DE LA REGION HOROLOGICA	-----
AEROPUERTO	✈
LIMITE DE CUENCA	-----
CURVA DE IGUAL PRECIPITACION (MEDIA ANUAL EN mm)	~~~~~ 1200
ESTACION CLIMATOLOGICA	●



U. N. A. M.

E. N. E. P. ACATLAN

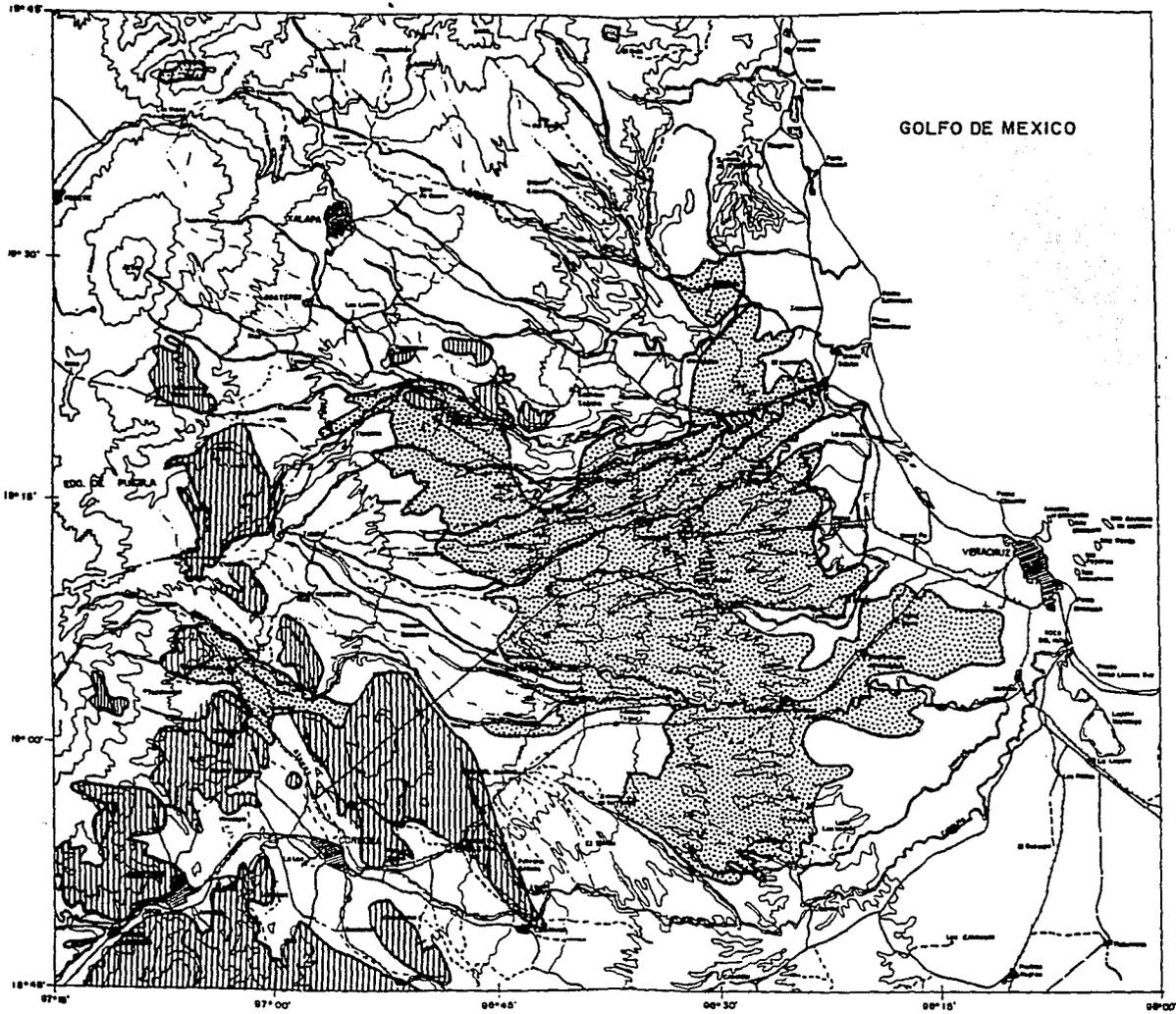
INGENIERIA CIVIL TESIS PROFESIONAL

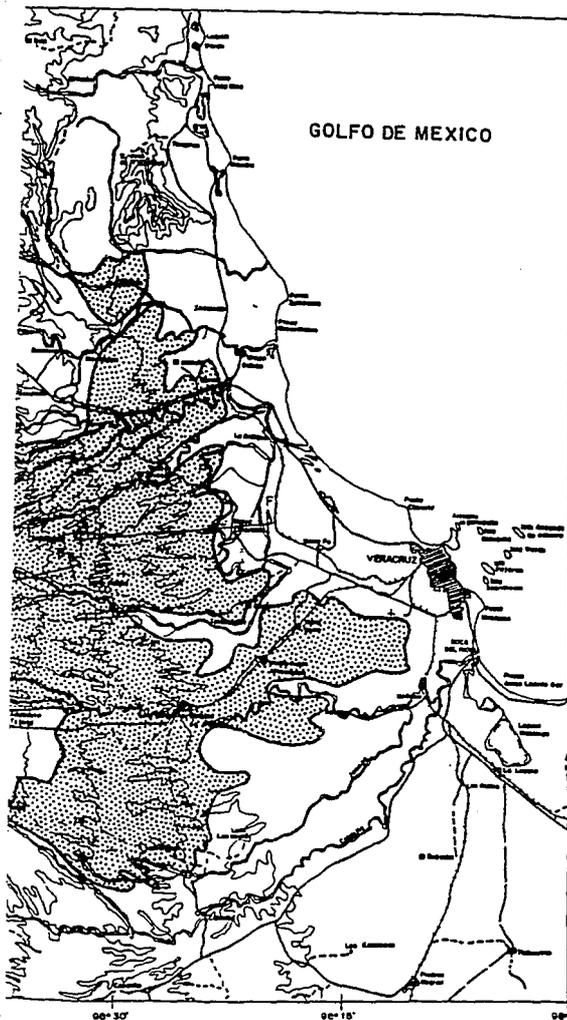
Isoyetas medias anuales

Jorge Isaura López González

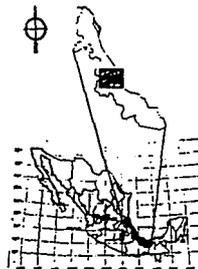
PLANO No. 1

GOLFO DE MEXICO





CROQUIS DE LOCALIZACION



SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA _____

TERRACENA _____

PERIOPARTE _____

LMITE ESTATAL _____

PUENTE _____

POBLADO _____

CURVA DE NIVEL EN MTS. _____

CURVA A CADA 100 MTS. _____

RIO _____

ARROYO _____

LAGUNA _____

AEROPUERTO _____

CORTACTO HIDROGEOLOGICO _____

SECCION HIDROGEOLOG. ESQUEMATICA _____

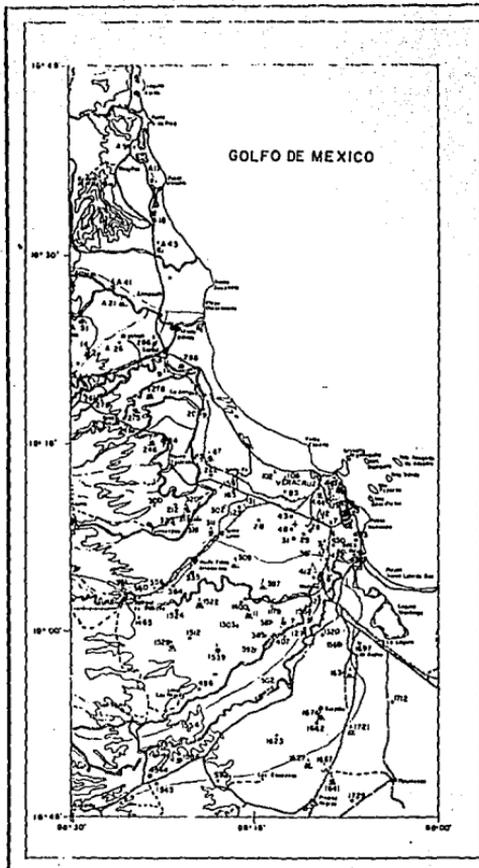
DISTRIBUCION DE LA PERMEABILIDAD DE ACUERDO A LA LITOLOGIA _____

GRAVAS, ARENAS DE COMPOSICION BASALTICA _____

ROCAS ANDESITAS BOLEOS Y ARENA SEMICOMPACTA _____

METAMORFICAS (FILITAS, ESQUISTOS) SEDIMENTARIAS ARCILLOSAS (LUTITAS) _____

U. N. A. M.	
E. N. E. P. ACATLAN	
INGENIERA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
PLANO HIDROGEOLOGICO	
Jorge Isaura López González	
PLANO No. 2	

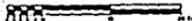


PROCESO DE LOCALIZACION

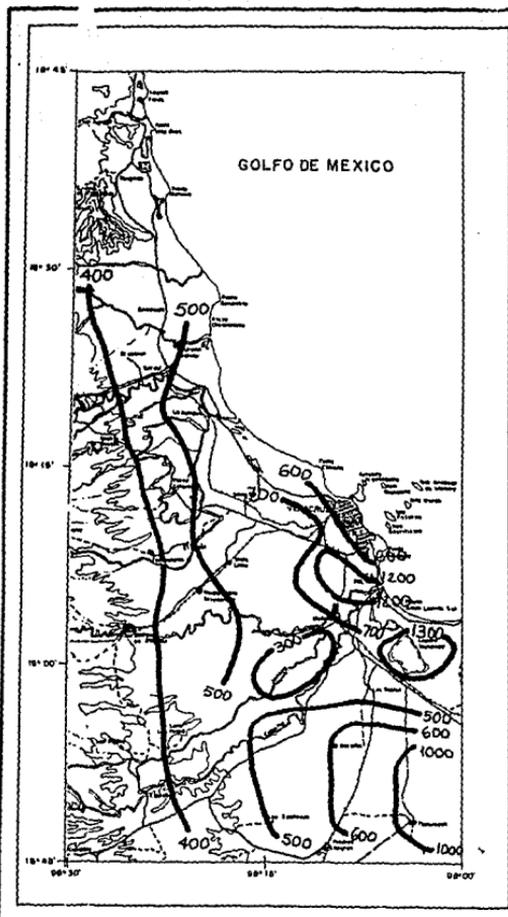


SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERMINACION	—————
FRANQUICIA	+++++
LIMITE ESTATAL	—————
PUENTE	—————
POBLADO	—————
CURVA DE 100 MTS.	—————
CURVA A CADA 100 MTS.	—————
RIO	—————
ARROYO	—————
LAGUNA	—————
AEROPUERTO	—————
POZO	—————
BORJA	—————
POZO O BORJA CON ANALISIS QUIMICO	—————



	U. N. A. M.	
	S. N. E. P. ACATLAN	
INGENIERA CIVIL	TESIS PROFESIONAL	
LOCALIZACION DE		
APROVECHAMIENTOS		
Jorge Isaura López González		
PLANO No 3		

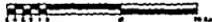


CROQUIS DE LOCALIZACION

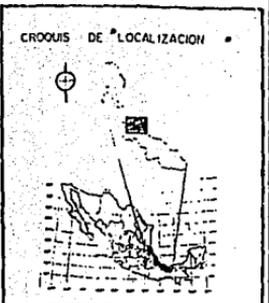
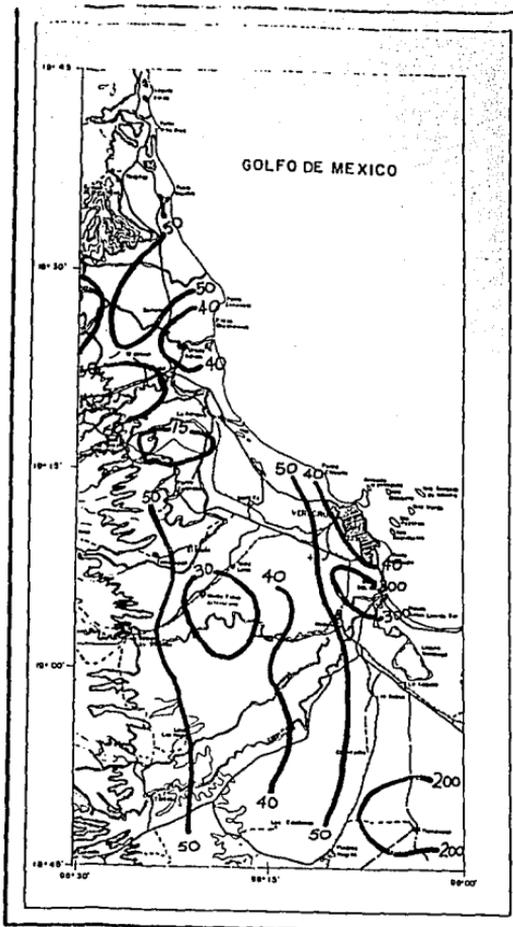


SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERRACORA	—————
FERROCARRIL	+++++
LIMITE ESTATAL	—————
PUNTE	—————
POBLADO	■
CURVA DE NIVEL EN MTS.	—————
CURVA A CADA 100 MTS.	—————
RIO	~~~~~
ARROYO	~~~~~
LAGUNA	○
AEROPUERTO	+
POZO	●
NORIA	○
CURVA DE IGUAL CONCENTRACION DE STD EN PFA	○



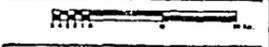
U. N. A. M.	
E. N. E. P. ACATLAN	
INGENIERA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	
Jorge Isidro López González	
PLANO No 4.	



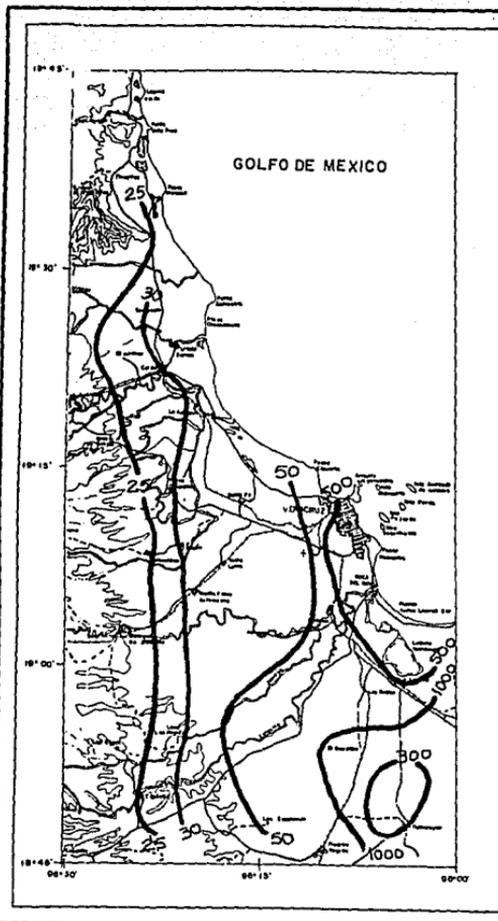
SIMBOLOGIA

CARRERA PAVIMENTADA	—————
TEMPERATURA	—————
PERIODOCARRIL	+++++
LÍNEA FERROVIARIA	—————
PUNTE	—————
POBLADO	■
CURVA DE NIVEL EN MTS.	—————
CURVA A CADA 100 MTS.	—————
RIO	~~~~~
ARRIETO	—————
LARINA	—————
AEROPUERTO	———↑
SOLO	●
NEPIA	○

CURVA DE 100m. CONTENIDO DE SODIO Na** EN 50%



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLÁN	
INGENIERA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
SODIO Na**	
Jorge Isaura López González	
PLANO No. 5	

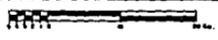


CROQUIS DE LOCALIZACION

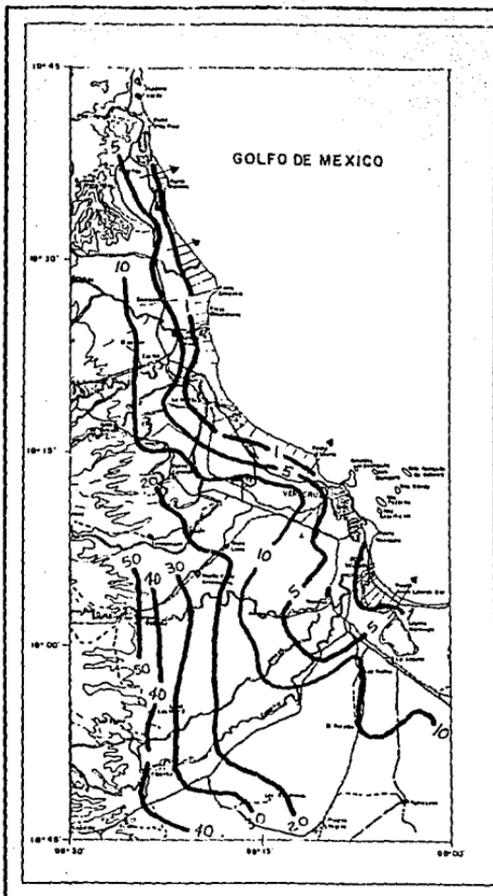


SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA _____
- TERRACENA _____
- PERROCARINA _____ ++++++
- LIMITE ESTATAL _____
- PUNTE _____
- POBLADO _____
- CURVA DE NIVEL EN MTS. _____
- CURVA A CADA 100 MTS. _____
- RIO _____
- ARROYO _____
- LAGUNA _____
- AEROPUERTO _____ ✈
- POZO _____ ●
- NOZIA _____ ○
- CURVA DE IGUAL CONTENIDO DE CLORO CI* EN SPR _____



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
CLORO CI*	
Jorge Isaura Lopez Gonzalez	
PLANO No 6	

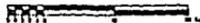


CROQUIS DE LOCALIZACION

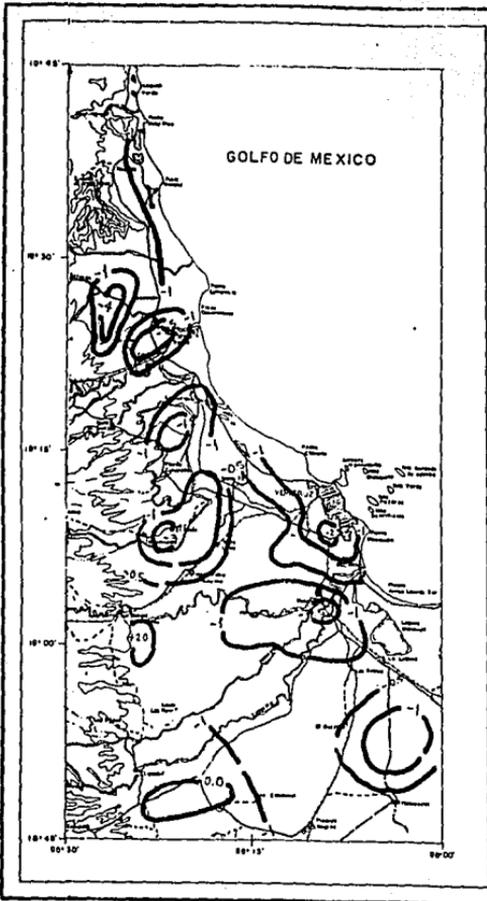


SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERRACERA	—————
TERMINAL	+++++
LINTE ESTATAL	—————
PUENTE	—————
VOLCANO	—————
CURVA DE NIVEL EN MET.	—————
CURVA A CADA 100 MET.	—————
RIO	—————
ARROYO	—————
LAGUNA	—————
AEROPUERTO	————— +
CURVA DE IGUAL ELEVACION DEL N.E.	—————
FLUJO SUBTERRANEO	————— →



U.N.A.M.	
E.N.E.P. ACATLAN	
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
ELEVACION DEL NIVEL ESTADICO OCT 1987	
Jorge Isaura Lopez Gonzalez	
PLANO No 9	



SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERRACERA	—————
FERRICARRIL	+++++
LIMITE ESTATAL	—————
PUNTE	—————
PORLAZO	—————
CURVA DE NIVEL EN MTS.	—————
CURVA A CADA 100 MTS.	—————
RIO	—————
ARROYO	—————
LAGUNA	—————
AEROPUERTO	+
CURVA DE IGUAL EVOLUCION DEL N.E.	—————



	U. N. A. M.
	E. N. E. P. ACATLAN
INGENIERIA CIVIL	TESIS PROFESIONAL
EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO OCT. 1981 - OCT. 1987	
Jorge Isidro Lopez Gonzalez	
PLAZO No 10	