

2ej. 17



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“Estudio Geohidrológico de la Porción Central
del Estado de Hidalgo.”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A**

JOSE ANDRES VAZQUEZ ZUÑIGA

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-169

Al Pasante señor VAZQUEZ ZUNIGA JOSE ANDRES
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Bernardo Martell Andrade, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO GEOLOGO.

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA PORCION CENTRAL
DEL ESTADO DE HIDALGO"

- I. Introducción
- II. Generalidades geomorfológicas
- III. Geología general
- IV. Geoquímica
- V. Investigaciones de campo
- VI. Hidrología superficial
- VII. Hidrología subterránea
- VIII. Conclusiones y recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D. F., diciembre 5 de 1978
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE' MRV' mdb.

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE UNA PORCION
CENTRAL DEL ESTADO DE HIDALGO**

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	4
A. OBJETO DEL ESTUDIO	6
B. TRABAJOS PREVIOS	6
C. METODO DE TRABAJO	7
D. LOCALIZACION Y EXTENSION DEL AREA	9
E. CLIMA Y VEGETACION	10
F. VIAS DE COMUNICACION	11
G. CULTURA	13
H. ECONOMIA	15
II. GENERALIDADES GEOMORFOLOGICAS	
A. FISIOGRAFIA	16
B. GEOMORFOLOGIA	16
C. HIDROGRAFIA	18
III. GEOLOGIA GENERAL	
A. ESTRATIGRAFIA	20
B. TECTONICA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL	38
C. GEOLOGIA HISTORICA	43
D. GEOHIDROLOGIA	50

IV.	GEOQUIMICA	
	A. INTRODUCCION	56
	B. INTERPRETACION GEOQUIMICA	57
	C. TIPOS DE AGUA	57
V.	INVESTIGACIONES DE CAMPO	
	A. PROSPECCION GEOFISICA	67
	B. METODO DE OPERACION	69
	C. EQUIPO EMPLEADO	71
	D. RESULTADOS	71
	E. PERFORACION DE EXPLORACION	73
	F. REGISTROS GEOFISICOS DE POZOS	78
	G. REGISTRO ELECTRICO	80
VI.	HIDROLOGIA SUPERFICIAL	
	A. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES	88
	B. ANALISIS HIDROMETRICO	90
	C. RECARGA DEL ACUIFERO	92
	D. MANANTIAL DE CERRO COLORADO	92
VII.	HIDROLOGIA SUBTERRANEA	94
	A. APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRANEAS	
	B. PIEZOMETRIA	95
	C. CONFIGURACION DEL NIVEL ESTATICO	95
	D. CONFIGURACION DE PROFUNDIDADES DEL NIVEL ESTATICO	96

E. EVOLUCION PIEZOMETRICA	96
F. PROPIEDADES FISICAS DE LOS ACUIFEROS	98
G. FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO	98
H. APLICACION EN LA ZONA DE ACTOPAN	102
I. APLICACION EN LA ZONA DE TULA	106
J. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REGION.	109
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
BIBLIOGRAFIA	124
PLANOS.	

R E S U M E N

El objetivo del presente estudio geohidrológico fue tratar de evaluar los recursos disponibles de agua subterránea en los valles intermontanos que drenan hacia la Cuenca del Rfo Tula.

La zona estudiada comprende una superficie de 4600 Km² y se encuentra situada en la porción Central del Estado de Hidalgo, entre los meridianos 98°40' y 99°20' de longitud Oeste de Greenwich y por los paralelos 20°00' y 20°30' de latitud norte.

La región pertenece a la parte transicional del altiplano mexicano, al eje neovolcánico que cruza al país en dirección general Oeste-Este, está caracterizado por extensas llanuras y valles con elevaciones medias de 2000 m sobre el nivel del mar de las que sobresalen numerosas zonas montañosas en su mayor parte de origen volcánico. Pueden distinguirse dos valles; el primero denominado planicie de Tula - Progreso - Actopan, que es el más extenso de la zona de estudio y el segundo valle corresponde a la zona de Chilcuautla, Tlacotalpilco e Ixmiquilpan que es de menor extensión. En la zona de estudio afloran rocas, ígneas y sedimentarias cuyas edades varían del Cretácico Inferior al Reciente.

Se hizo una reinterpretación de las formaciones desde el

punto de vista geohidrológico para delimitar zonas de baja permeabilidad que pueden funcionar como fronteras y las zonas de rellenos lacustres o aluviales que forman las regiones acuíferas de la zona, así como las formaciones de calizas que están funcionando en forma independiente de los rellenos en los valles. Esta reinterpretación sirvió de base para delimitar los valles de rellenos aluviales y lacustres que corresponden a las zonas de pozos actualmente en explotación en los que ocurre el flujo principal de los acuíferos en la región. Con base en esta interpretación, se hizo todo el estudio de la hidrología subterránea del área de la región.

Se han perforado pozos exploratorios con resultados positivos; y se han efectuado sondeos geoelectricos que tuvieron utilidad en la definición de probables profundidades para futuras perforaciones que se hagan en la región. Con datos proporcionados por el laboratorio de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México y el laboratorio Central de Agrología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se presenta un breve resumen de análisis geoquímico.

Las aportaciones más importantes de aguas subterráneas en la zona de estudio están constituidas por los escurrimientos de los Ríos Tula y Salado. En vista de que se consideró que el --

Rfo Tula, aguas abajo de la presa Endhó, constituye el drenaje principal de la zona de riego, se hizo una serie de análisis diferenciales de los escurrimientos medidos entre las estaciones hidrométricas de Binola y Tecolotes, incluyendo las derivaciones a través de su Tunel, encontrándose que las aportaciones medias provenientes del drenaje del Distrito de Riego No. 03 constituye un volumen anual de $144 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Se efectuó el estudio de la hidrología subterránea; de acuerdo con los datos hidráulicos que se obtuvieron de dichos pozos, fué posible fijar las condiciones de flujo para la zona de Actopan y para la de Tula - Mixquihuala, su evaluación piezométrica, funcionamiento del acuífero superficial, y un balance de aguas subterráneas.

CAPITULO I

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

De todos es conocida la importancia que tiene el agua para la supervivencia de la flora, la fauna y el hombre, tanto aislada como colectivamente. Todas las obras que se hagan para su obtención, transporte y distribución son de beneficio social y de vital necesidad, de aquí que siempre ha sido, es y será su búsqueda una de las más importantes actividades de la humanidad.

Estimaciones comparativas han revelado que, a nivel mundial, el recurso hidráulico disponible en el subsuelo es mucho mayor que el disponible en la superficie. Según una de dichas estimaciones, más del 90% del agua dulce existente en la tierra se encuentra bajo la superficie del terreno; otra de ellas indica que el volumen de agua almacenado en el subsuelo de nuestro planeta es unas 20 veces mayor que el de agua dulce superficial.

Independientemente de la dudosa precisión de las cifras anteriores, el hecho es que las fuentes de agua superficial ya están siendo aprovechadas en su mayoría, mientras las demandas de agua continúan aumentando progresivamente a causa de la explosión demográfica.

Esto significa que en el futuro las demandas tendrán -

que ser satisfechas cada vez en mayor porporción con agua procedente de las fuentes subterráneas. Si esto se agrega que gran parte del planeta está ocupado por zonas desérticas, donde el único recurso hidráulico disponible se encuentra en el subsuelo, queda fuera de toda duda la gran importancia de este recurso⁴.

A). OBJETO DEL ESTUDIO.

La carencia de agua que padecen los habitantes de una porción del Estado de Hidalgo, tanto potable como para irrigación y usos industriales, ha hecho que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección de Geohidrología y de zonas arida, establezca la Residencia de Geohidrología y de zonas áridas en el Estado de Hidalgo, de la cual forma parte el que suscribe, teniendo como finalidad primordial aliviar hasta donde sea posible dicha escasez de agua para usos domésticos, agrícola, ganadera e industrial, mediante el hallazgo y alumbramiento de nuevos mantos acuíferos subterráneos. Este trabajo está enfocado únicamente a lo que comprenden los valles de Actopan y Mezquitital.

B). TRABAJOS PREVIOS

Entre los trabajos previos realizados en esta área, podemos citar los siguientes:

Simons F.S. y Mapes v. Eduardo 1957, Geología y Yacimientos Mineros del Distrito Minero de Zimapán, Hgo; Instituto Nacional de Investigaciones de Recursos Mineros.

Carlos Fries Jr. 1963, Resumen de la Geología de la -

Hoja Pachuca, Estado de Hidalgo.

José R. Cid T. 1959, Breve Introducción a la Petro--
grafía del Valle del Mezquital. Tesis Profesional. E.S.I.A. -IPN,
México.

Geyne, A. R., Fries C. Segerstrom K, Black. J. y -
Wilson, F. 1963, Geología y Yacimientos Minerales del Distrito -
de Pachuca, Real del Monte, Estado de Hidalgo.

Segerstrom Kenneth 1961, Geología del Sureste del Es-
tado de Hidalgo y del Noroeste del Estado de México; Asociación
Mexicana de Geólogos Petroleros.

Victor F. Revueltas 1968, Plano Geológico Preliminar
del área Apaxco-Tula-Actopan-Ixmiquilpan, Estado de México e --
Hidalgo. Petróleos Mexicanos.

C). METODO DE TRABAJO

Con base en los datos existentes, se programaron las
actividades de campo y gabinete con el objeto de obtener la infor
mación necesaria para los fines del estudio y que consistió de lo
siguiente:

Recopilación de información existente sobre estudios -
anteriores efectuados en la región; la carta geográfica de la Se--

cretaria de la Defensa Nacional, esta hoja a escala 1:100,000 se tomaron como base para la elaboración de los planos geológicos y topográficos; recorridos de campo que se hicieron con la finalidad de conocer eficazmente la zona de estudio; reconocimientos sobre las unidades litológicas que afloran en el área para su comprobación con el plano geológico de la Hoja Pachuca y el plano preliminar de Petróleos Mexicanos, así como la localización de pozos, norias y manantiales, efectuando el sondeo en las dos primeras, con el objeto de tomar nota de las profundidades del nivel piezométrico.

Así mismo se hizo la nivelación de las obras de captación tales como pozos, norias y manantiales, referenciéndolas al nivel medio del mar, para posteriormente hacer la elaboración de planos hidrogeológicos.

Estos datos disponibles se comprobaron en el campo y se hizo una reinterpretación de las formaciones desde el punto de vista geohidrológico, para delimitar zonas de baja permeabilidad que pueden funcionar como fronteras y las zonas de rellenos lacustres o aluviales que forman las regiones acúferas de la zona, así como las formaciones calizas que están funcionando en forma independiente de los rellenos de los valles.

Esta reinterpretación sirvió de base para delimitar --

las zonas de rellenos aluviales y lacustres que corresponden a la zona de pozos actualmente en explotación en la región. Con base en esta interpretación, se hizo todo el análisis de la hidrología - subterránea de la región.

Para la perforación se utilizaron equipos de perforación marca "Chicago Neumatic" de circulación directa de fluidos de perforación.

Se llevó un control desde el inicio de cada una de las perforaciones, poniendo principalmente interés en las muestras de roca que atravesaba la barrena de perforación, se realizaron pruebas de bombeo con diferentes tiempos de duración con el fin de observar el comportamiento del acuífero.

D). LOCALIZACION Y EXTENSION DEL AREA.

El área de estudio se localiza en la porción central del Estado de Hidalgo entre los paralelos 20°00' y 20°30' de latitud norte y los meridianos 98°40' y 99°20' de longitud oeste del meridiano de Greenwich (fig. # 1), tiene una superficie de 4600 km² forma la Cuenca Alta del Río Pánuco quedando delimitada al sureste por la Cuenca del Valle de México, al noreste por la Sierra Madre Oriental, al norte por la unión de los Ríos San Juan y Tu-

la, al Oeste por el Valle de San Juan del Rfo y al Suroeste por la Cuenca del Rfo Lerma.

E). CLIMA Y VEGETACION.

El Estado de Hidalgo es uno de los estados de la República Mexicana que más contrastes ofrecen en lo que se refiere a clima y vegetación, ya que cuenta con zonas de clima distintos como la región de la Huasteca, regiones templadas de montañas, regiones semi-áridas y áridas. La Huasteca tiene un clima tropical y una precipitación aproximada de 2,000.00 mm anuales; en la Sierra de Pachuca, en la región del mineral del Chico, la precipitación anual es de 1,200 mm y en la región árida las precipitaciones son menores de 4 mm anuales.

El clima de la región según la clasificación de Koeppen es semiárido con temperatura media anual de 17.2° con máxima de 28°C y mínima de 4°C, la temporada de lluvias es en verano, siendo la precipitación pluvial anual de 500 mm.

La vegetación que se presenta en la zona de estudio es en general escasa debido al clima árido y a la tala inmoderada a que ha sido sometido durante mucho tiempo sin preocuparse por su reforestación, como sucede en las montañas de Fray Francisco, San Andrés y Magdalena, ubicadas al Este de la Ciudad de Actopan. En

estas montañas todavía existe una vegetación más marcada que en cualquier otra área de la región y está constituida principalmente por el orden de las coníferas como son: encinos (*Quercus barbinervis*) pinos (*Pinus Moctezuma*), abetos (*Abies religiosa*) y sequoias, la presencia de arbustos entre los árboles, hace aún más -- exuberante la flora en esta zona, con una altura de 2,400 a 2,700 m, s.n.m. El área de estudio presenta dos zonas muy marcadas la que no tiene riego y la que cuenta con él. La primera se caracteriza por una vegetación de tipo árido predominantemente xerofitas, cactáceas, pirúl, mezquite, agave, lechuguilla, agave sep (varias especies de maguey) etc., la segunda zona, ha sufrido un cambio de árido a agrícola ya que forma parte del Distrito de -- Riego 03, lo que ha ocasionado que la vegetación como el pirul y sequoias, estas por reforestación, se desarrollan más rápido, la superficie del suelo se cubre con diversos cultivos, como son: Cebada, frijol, maíz, alfalfa, trigo y jitomate.

F). VIAS DE COMUNICACION.

La principal vía de comunicación es la carretera federal número 57 que corta a la zona de estudio en su extremo suroeste, pasando por las poblaciones de Tepeji del Río, Hgo., y San Juan del Río, Qro., lugares de donde parten caminos estatales y vecinales que conducen a toda la zona. Otra vía de comunicación

importante es la carretera federal número 85, México-Laredo de SE a NW, pasando por las poblaciones de Pachuca, Actopan e Ixmiquilpan, entroncando 8 km adelante de este último poblado con la carretera estatal número 45 que va de ahí a Huichapan, Hgo., y San Juan del Río, Qro.

También es importante la carretera estatal que une a la autopista México-Querétaro con la carretera México-Laredo, mediante la carretera Tepeji del Río-Actopan que pasa por las poblaciones de Tula, Mixquiahuala y Tepatepec. Existen otros caminos de menor importancia desde pavimentados hasta brechas que comunican poblados de la zona entre sí.

Por lo que respecta a las vías férreas la zona cuenta con las siguientes líneas:

- a) México-Pachuca-Huichapan-San Juan del Río.
- b) México-Tula-Polotitlán-San Juan del Río.

mismas que se unen en la cercanía de Querétaro para continuar al norte con destino a Nuevo Laredo y la otra rumbo al Pacífico vía Guadalajara.

Las vías aéreas de comunicación se restringen a pistas locales de aterrizaje para avionetas.

G). CULTURA

Se recordará que en el Valle del Mezquital han florecido grandes culturas prehispánicas que se remontan al siglo X, en que llegaron a la región la tribu Nahuas de los Chichimecas; -- años después arribaron tribus Olmecas que fundaron la actual Tula de Allende, Capital de Tollán; restos de tal civilización quedan aún latentes como atestiguan los "Atlantes".

Fue gracias a las enseñanzas de aquel hombre Dios, barbado, Coatl Topiltzin Quetzalcoatl "Serpiente Emplumada", que la cultura tolteca alcanzó su mayor florecimiento alrededor del Siglo XI para declinar y desaparecer bajo la conquista de otras tribus indígenas. Una tribu que ocupó la región previamente a los toltecas es la de los Otomies, pero a causa de su carácter nómada y temeroso casi no han dejado huellas de su presencia y menos aún de su riquísima cultura. Al llegar los toltecas, éstos hicieron que los Otomies huyeran a las montañas, para regresar a la declinación del Imperio Asteca.

Los Otomies fueron incorporados parcialmente a la civilización española durante la conquista y en la actualidad tienen idioma bilingüe, es decir, hablan español y el dialecto Otomi.

En el Valle de Actopan prácticamente esta desapareciendo

La cultura en la actualidad ha mejorado notablemente con relación o estadísticas de años anteriores, el 95% de los habitantes saben leer y escribir.

LAS POBLACIONES MAS IMPORTANTES SON PACHUCA, TULA, IXMIQUIL-- PAN, ACTOPAN Y MIXQUIAHUALA.

A continuación se hace un breve resumen estadístico de cada una de ellas:

Habitantes	Pachuca 91,549	Tula 38,685	Ixmiquil. 35,516	Actopan 25,959	Mixquiahuala 17,513	
Jardines de niño	24	12	11	5	3	
Escuelas Primarias	20	12	9	8	3	
Escuelas Secundarias	6	4	3	3	1	
Preparatorias	4	3	1	1	1	
Universidades	1	-	-	-	-	
Instituto Tecnológico Regional	1	-	-	-	-	
Centro de estudios Científicos y Tecnológicos.	-	-	-	-	-	
Población Económicamente activa	24,490	9,493	8,777	6,172	4,110	
Población económicamente activa en el sector agropecuario	1,390	3,583	4,843	3,117	2,642	
No. de hectareas de riego	83	5,191	2,379	3,203	9,625	
No. de hectareas de jugo o humedad		1.0	0.0	0.0	0.0	2.0
No. de hectareas de temporal	750		0.0	2.0	0.0	0.0
Cultivos que cubren el del área regada	84.3%	99.2%	82.0%	82.1%	87.0%	
	Alfalfa	Maíz Trigo	Jitomate Maíz-Ajo Alfalfa	Maíz Trigo	Maíz-Trigo Frijol Alfalfa	
	14					

CAPITULO II

GENERALIDADES

GEOMORFOLOGICAS

H). ECONOMIA

La población activa en el aspecto económico es baja y desproporcionada en virtud de que la región enfrenta problemas de industrialización, las actividades se reducen a labores agrícolas, comerciales y ganaderas.

La principal fuente de ingresos en la región proviene inudablemente de la agricultura ya que un 40% de este valle tiene riego permanente, gracias a las Aguas Negras provenientes del Distrito Federal, las que contribuyen a una producción agrícola muy elevada, enfocada principalmente al cultivo del maíz, frijol, trigo, forraje y jitomate.

En el otro 60% restante se limita su actividad agrícola solamente al período de lluvias, siendo la producción sumamente baja ya que la precipitación pluvial no es suficiente lo cual ocasiona que muchas veces no se recupere lo invertido, haciendo que los campesinos descuiden sus tierras para ir en busca de trabajo a la zona de riego o emigrando al Distrito Federal.

La ganadería es escasa en esta región, por lo que la producción no alcanza a cubrir satisfactoriamente las necesidades de consumo de su población.

A). FISIOGRAFIA.

La zona estudiada pertenece a la provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico" (Alvarez 1972), se caracteriza por los resultados de las manifestaciones de actividad volcánica y la presencia de grandes rasgos, cuya morfología, orientación y distribución dan ideas de estar situadas en fosas tectónicas. Dichas fosas se localizan siguiendo la llamada "zonas de fracturas Clarión", que atraviesa al país de occidente a oriente.

Hacia el norte, el eje neovolcánico colinda con la Meseta Central con elevaciones de más de 2,000 m.s.n.m.; la mitad norte de esta meseta está constituida por sierras de Calizas del Mesozoico, en tanto que en su parte sur predominan las rocas ígneas de tipo extrusivo. La zona estudiada queda en la transición de esta división general.

B). GEOMORFOLOGIA

a) Orografía .- La superficie estudiada se caracteriza por extensas llanuras de tipo construccional poco o no disectadas; situadas a más de 2,000 m.s.n.m.; de dichas planicies sobresalen numerosas elevaciones montañosas constituidas, en su mayor parte por aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas y cenizas, la composición litológica predominante de estas zonas montañosas es

de rocas de tipo básico a intermedias o sean basálticas o andesíticas, sus edades varían desde el Pliógeno tardío hasta el Reciente y muestran grados variables de destrucción por la erosión.

Algunas montañas están formadas por restos erosionados de rocas volcánicas terciarias más antiguas de tipo ríolítico y andesítico y otras por rocas sedimentarias mesozoicas que fueron sepultadas por las rocas volcánicas más recientes, o bien esa cubierta fué removida por erosión posterior en algunos lugares. Dentro de la zona de estudio existen varios valles y cuencas de tipo escalonado, huellas de antiguos niveles de acumulación y depósitos lacustres o fluviales que actualmente se encuentran erosionados en forma parcial por el sistema fluvial del Río Tula y Actopan.

Se pueden distinguir fundamentalmente dos valles: planicie de Tula-Progreso-Actopan y el de Chilcuautla, Tlacotalpilco e Ixmiquilpan.

Fuera del área de estudio tenemos un valle más alto - que puede denominarse Valle de Apaxco que se extiende desde Tequisquiácac hacia el norte, que es donde el Río Salado inicia un descenso de fuertes pendientes en su cauce, hasta encontrarse aguas abajo con el Río Tula; ambos Ríos Salado y Tula fluyen hacia otra gran planicie de acumulación y depósito de nivel más o menos uni-

forme que puede denominarse "Planicie Tula, Progreso-Actopan".

Otra planicie con una orientación N-S que revela otro antiguo nivel, se localiza entre Chilcuautla y Tlacotalpico. Hacia la parte plana de Ixmiquilpan se define otro nivel cuya extensión - en su porción más o menos plana se puede denominar "Valle de Ixmiquilpan".

C). HIDROGRAFIA.

Las corrientes superficiales más importantes que cruzan el área de estudio con: el Río Actopan, el Río Salado y el Río Tula. El primero de ellos sigue de desfoque de las aguas -- aplicadas para el riego de la unidad Actopan. El Río Salado es el afluente más importante del Río Tula en esta región, recibe las -- descargas de las aguas drenadas de parte de la Cuenca Cerrada -- del Valle de México y además las aguas negras de la Ciudad de -- México. El Río Salado fluye al Tula aguas abajo de la presa de -- Endhó, este río atraviesa al Distrito de Riego 03 de sur a norte y desemboca en el Río Tula al noroeste del poblado de Texontepec. -- El principal río de esta región es el Tula, cuya cuenca de captación cubre una superficie de 11000 km² hasta la población de Ixmiquilpan extendiéndose por el sur hasta el Estado de México fuera del área de estudio. Los principales formadores del Río Tula --

son los Ríos Tepeji y el Salto, y siguiendo su curso hacia el nor
te recibe por la margen izquierda la afluencia de los Ríos Tiautla
y las Rosas, continuando en la misma dirección hasta llegar a la
Endhó donde desvía su curso hacia el Este, recibiendo por la mar
gen derecha la descarga del Río Salado, para desviarse nuevamen
te hacia el Norte y pasar por las poblaciones de Ixmiquilpan y --
continuando su recorrido hasta unirse con el Río San Juan del --
Río fuera del área de estudio, formando posteriormente el Río -
Moctezuma que será luego tributario del Río Pánuco.

CAPITULO III

GEOLOGIA GENERAL

A). ESTRATIGRAFIA.

En el área de estudio afloran rocas que, de acuerdo a su origen se clasifican en sedimentarias (marinas y continentales), e ígneas extrusivas, cuyas edades van del Cretácico Inferior al Reciente.

La estratigrafía utilizada para designar a las unidades litológicas localizadas en el área, fué tomada del informe titulado "Geology of south Central Hidalgo and Northeastern Mexico", (1962) by Kenneth Segerstrom, el cual abarca parte del área. La columna esta descrita de la base a la cima.

CRETACICO

Caliza El Doctor (Ked)

La unidad litoestratigráfica más antigua que aflora en el área de estudio, es la formación El Doctor, ésta formación fue descrita por Wilson en 1955 P-2-3, en un pueblito de ese nombre ubicado en el Estado de Querétaro a 25 km, al Noroeste de Zimapan, Hgo.

La localidad típica corresponde al flanco Noreste de un gran banco de caliza, en donde se han distinguido cuatro facies de la formación: una facie biostromifera de aguas someras, otra de -

TABLA ESTRATIGRAFICA

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	EDAD	VALLE DEL MEZQUITAL	
MESOZOICO	CRETACICO	INFERIOR	COMANCHEAN	NEOGENO	125	
				VALANCIANO	120	
				MADREPERLANO	115	
				APTIANO	110	
				TUPENAN	105	
			COMANCHEAN	SUPERIOR	100	
				MEDIO	95	
				INFERIOR	90	
				TURONIANO	85	
				CENOMANIANO	80	
	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	MAESTRICIANO	78	
				CENOMANIANO	75	
				SANTONIANO	70	
				CECILIANO	65	
				TUPENAN	60	
				CENOMANIANO	55	
				EUFONIANO	50	
				MEDIO	45	
				SUPERIOR	40	
				ALBIANO	35	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO	TERCIARIO	SUPERIOR	GOLFIANO	EUFONIANO	15	
				MEDIO	10	
				SUPERIOR	5	
				SANTONIANO	0	
				CENOMANIANO	-5	
				TURONIANO	-10	
				EUFONIANO	-15	
				MEDIO	-20	
				SUPERIOR	-25	
				ALBIANO	-30	
MESOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	COMANCHEAN	EUFONIANO	30	
				MEDIO	25	
				SUPERIOR	20	
				SANTONIANO	15	
				CENOMANIANO	10	
				TURONIANO	5	
				EUFONIANO	0	
				MEDIO	-5	
				SUPERIOR	-10	
				ALBIANO	-15	
MESOZOICO						

conglomerados, una tercera de capas gruesas con nódulos de pedernal, y la cuarta de capas delgadas de caliza y pedernal que se depositaron en aguas profundas.

En la zona de estudio la formación está representada por calizas en capas gruesas con algo de dolomita intercalada. La caliza es resistente a la erosión diluida a que el clima es de semiárido a árido y da origen a eminencias topográficas. La base de la formación no está expuesta, pero según Segerstron (1969) al Noroeste y Norte aflora la formación Santuario de edad Neocomiana, así como infrayaciendo a ésta se encuentra la formación Los Trancos del Jurásico Superior.

Existe una discordancia erosional entre las unidades infrayacentes a la formación El Doctor (según Carlos Fries Jr), aunque no se ha comprobado la presencia entre ellas de una relación angular, pero al Norte de ésta área de estudio, la formación El Doctor es transgresiva sobre una superficie de erosión desarrollada encima de las unidades infrayacentes y es de suponer que la misma relación existe en el subsuelo del área de estudio.

La formación El Doctor en esta zona presenta dos facies litológicas, una conocida localmente como banco de Ixmiquilpan (Segerstron 1961), representa el material depositado sobre un

banco submarino a poca profundidad que se hundía paulatinamente mientras se acumulaban los lodos, limos y arenas calcáreas que forman los estratos actuales. En esta facie la caliza es de color gris claro a crema y se dispone en capas gruesas de bastante pureza, casi sin pedernal, sin dolomitización y sin intercalaciones de lutita.

El espesor total de esta facie parece aproximarse a los 900 m. Las capas resultantes de la sedimentación sobre los bancos submarinos constan principalmente de calcilimolita y calcarenita que localmente contiene abundantes restos fósiles de bivalvos y gasterópodos.

La segunda facie se caracteriza por presentar capas más delgadas y conglomerados calcáreos. Esta facie consiste principalmente de calcarenita de estratificación gruesa y conglomerado de grano fino cantidades considerables de coquina clástica. Sus condiciones de sedimentación quedan mejor indicados por la presencia de conglomerados calizas de grano grueso, con bloques de 2.00 m de diámetro cuya composición y grado de redondez varían considerablemente. Los bloques están compuestos de calcarenita, coquina, coquina clástica o caliza de grano fino.

La edad de la Formación El Doctor es en gran parte del Albiano Medio al Cenomaniano Inferior y se correlaciona con

la caliza El Abra de la Cuenca Tampico-Misantla, al noreste (Bonnet 1952) y con la Formación Morelos al sur (Fries 1956).

FORMACIONES SOYATAL (Kss) y CUAUTLA (Ksc).

Sobre la Formación El Doctor descansa en discordancia erosional una sucesión de calizas que constituyen las formaciones Soyatal y Cuautla. La primera fue descrita por Wilson en 1955 en un pequeño campo minero de antimonio llamado Soyatal -- ubicado a 48 km al Noreste de Zimapán, Hgo., y contiene principalmente calizas impuras en capas delgadas. La segunda fue descrita por C. Fries en 1956 cerca de la ciudad de Cuautla, Mor., y esta formada por calizas bastante puras en capas gruesas, debido a la semejanza litológica que tienen ambas formaciones se les considera del Turoniano Superior. Al Noroeste de la zona de estudio la formación Soyatal tiene un espesor aproximado de 200 m y hacia el Oriente va disminuyendo hasta desaparecer. Parece que en una época de emersión y erosión intervino entre el depósito de la formación El Doctor y el de la Soyatal aunque no se ha comprobado la existencia de una relación angular entre ambas. Lo cierto es que hubo un cambio notable en la clase de sedimentos depositados y en su contenido de fauna, ya que la formación Soyatal contiene una proporción mucho mayor de arcilla y no muestra la frecuencia de los miliólidos y rudistas que son tan característicos de

la unidad infrayacente.

Las capas de caliza varían de delgadas a medianas en trozos no intemperizados su color es característicamente gris oscuro a negro y es común una laminación fina. Hacia arriba en la sucesión se presentan capas lutíticas calcáreas también de colores oscuros. La cima de la formación no está marcada y parece que en muchos lugares la formación Soyatal y Cuautla, pasa transicionalmente a la próxima unidad suprayacente, que es la formación Mexcala. Los fósiles encontrados de la formación Soyatal constan principalmente de bivalvos del género *Inoceramus* indicando una edad Turoniana, por lo tanto puede correlacionarse con la formación Agua Nueva (Stephenson 1921) de la Cuenca Tampico-Misantla.

Al suroeste de la zona de estudio aparece una sucesión de capas de calizas gruesas con mas de 200 m de espesor total, que descansa discordantemente sobre la formación El Doctor, no difiere mucho de la unidad infrayacente ya que es de facies de banco submarino, solamente se diferencian por el contenido de fósiles que (Fries 1960) la comparo debido a su semejanza litológica y contenido de fauna con la formación Cuautla que aflora al sur de la Cuenca de México.

FORMACION MEXCALA (Km).

Descansa encima de la formación Soyatal o de la Cuau-

tia con concordancia aparente, o directamente encima de la formación El Doctor con discordancia erosional, se presenta una sucesión gruesa de capas clásticas de grano variable con Matrix -- Calcárea. Esta unidad está formada en su parte inferior por capas alteradas de fangolita, lutita, marga, o caliza y arenisca. Hacia arriba en la sucesión las capas de marga y caliza desaparecen y las areniscas predominan, incluso capas de conglomerado fino intercaladas. Algunas de las llamadas calizas no son sino areniscas formadas de partículas de caliza y dolomita erosionados de las formaciones infrayacentes o sean calizas clásticas las demás areniscas pueden llamarse grauvacas o subgrauvacas, que tiene una proporción constante alta de minerales máficos partículas lícticas, feldespatos, micas detríticas. Es probable que el espesor máximo de lo que queda de esta sucesión en los sinclinales más profundos, esta entre los 600 y 1000 m tomando en cuenta, que en ningún lugar aparece la parte superior de la formación por haberse erosionado, su espesor original debió haber sido apreciablemente mayor.

El nombre de Mexcala procedente del Estado de Morelos (Fries 1956), se usa para la unidad de lutita y arenisca que sobreyace con la formación El Doctor, aparentemente es concordante con la formación Soyatal o Cuautla pero en los lugares don-

de ésta no existe es discordante con la formación El Doctor.

El nombre de Méndez se usa para la unidad de lutita y arenisca que sobreyace a la formación Soyatal, al norte del Valle de Actopan. Las formaciones Mexcala y Méndez son en gran parte equivalentes entre sí en facies y en edad aunque la primera contiene una proporción mayor de capas clásticas de grano más grueso que la segunda.

Se les ha dado una edad que va del Coniaciano al Campaniano y posiblemente se prolonga hasta el maestrichtiano.

Su parte inferior es equivalente en edad, pero no en facies, a la caliza San Felipe que aflora más al norte, y su parte superior es equivalente en edad pero no en facies, a la lutita Méndez del Oriente de México.

La faja de lutita y arenisca Mexcala-Méndez que aflora en la barranca del Río Metstilitán, ubicado al Este del Valle de Actopan fue correlacionado por Thalma y Ayala Castañares (1959) con las lutitas Necoxtla de la localidad, tipo cerca de Orizaba, Ver., con edad correspondiente al Senoniano.

ROCAS SEDIMENTARIAS (Continental y Volcánicas Terciarias)

GRUPO EL MORRO (Teom).

Descansando sobre las rocas que forman el basamento Cretácico, con discordancia angular y erosional muy marcada, se presenta una sucesión gruesa de rocas continentales Terciarias.

La parte mas antigua del Sistema Terciario solamente se tiene la presencia de dichas rocas al norte del Valle de Actopan, y consiste en una sucesión clástica discontinua llamado Grupo El Morro. Este grupo esta cubierto en partes por una sucesión de rocas volcánicas llamadas Grupo Pachuca; en algunas partes donde El Grupo El Morro no fue cubierto por el Grupo Pachuca ha sido fuertemente erosionado y desaparecido. El Grupo El Morro se caracteriza por conglomerado calcareo rojizo generalmente bien consolidado, no marino y dispuesto en capas variables de gruesas a masivas, esta unidad llamada Grupo El Morro por Segerstrom (1961), aparece en la actualidad solamente en pequeños manchones al norte del Valle del Mezquital. Es de esperarse que en una época existieron volúmenes superiores de dichos sedimentos, pero la erosión posterior ha removido gran parte de ellos y otra parte han sido sepultados por rocas volcánicas y Terciarias mas resistentes.

La litología del Grupo El Morro es extremadamente va

riable, quizás la composición más típica corresponde a un conglomerado cuyos componentes se derivaron de la erosión de las rocas cretácidas infrayacentes, los componentes grandes están formados casi totalmente de calizas y dolomita, mientras que la matriz de grano fino probablemente representa el residuo insoluble del intemperismo de la formación Mexcala; el color característico de la matriz es rojizo; por lo que frecuentemente se ha referido a esta clase de sedimentos en la región Central de México con el nombre de "Conglomerado Rojo". Localmente el Conglomerado está endurecido y cementado mientras en otras partes del mismo manchón casi no existe cementación localmente. Segerstrom en 1961 le dio el nombre de Conglomerado El Morro, cuya localidad tipo se encuentra en el Cerro denominado El Morro situado al NW y a 6 km de Zimapán, Hgo., está formado por un conglomerado calcáreo rojizo consolidado de origen continental tiene mezclado material tobáceo y derrames de lava basáltica a andesítica, su espesor es de 400 m aproximadamente, en dicha localidad, su edad equivale al Eoceno-Oligoceno.

TERCIARIO VOLCANICO, INDIFERENCIADO GRUPO PACHUCA (Tomp).

Rocas volcánicas de diversas edades descansan localmente encima del Grupo El Morro, generalmente con discordan-

cia angular. En los lugares donde el Grupo El Morro falta, las rocas volcánicas se apoyan en discordancia angular en las rocas cretácidas, la sucesión mas gruesa y mas completa de estas rocas se encuentra en la Sierra de Actopan y de Pachuca al Este y Sureste del Valle de Actopan.

El tipo mas voluminoso consiste en rocas de derrames, particularmente en la parte superior de la formación, la cual es seguida por brechas o conglomerados volcánicos por capas clásticas tobáceas de grano mas fino. Un tipo de roca de volumen relativamente pequeño se presente en la parte inferior de la formación y se restringe a un área pequeña al Este de la Sierra de Pachuca; sobre el Rfo Amajac; consiste en limolita interestratificada con caliza arcillosa, las que junto con las rocas volcánicas que las encierran, fue con consideración erróneamente por Wilch (1913) como pertenecientes al Cretácico. Un miembro clástico tobáceo forma la base de la formación Pachuca que se ha comprobado en el Distrito Minero Pachuca Real del Monte. Esta formado por material bien estratificado y litificado en capas delgadas de espesor muy pequeño, compuestos por limo y arena. La mayoría de los granos mas gruesos son de forma subredondeada. El color es variable desde el rojo oscuro y el verde grisáceo hasta el blanco. La roca de derrame relativamente poco alterada es de color púr-

pura pálido. El intemperismo produce colores pardos rojizos y amarillentos de acuerdo con el grado de hidratación de fierro.

La brecha de derrame es de colores variables de gris obscuro a verde azulado, de acuerdo con su grado de alteración. Está constituido por fragmentos angulosos y subredondeados que varían en tamaños de unos cuantos mm a 60 cm empacados en una matriz porfídica que localmente tiene estructura fluidal.

ROCAS VOLCANICAS NO DIFERENCIADAS (Tomv).

Con excepción de las rocas volcánicas de las Sierras de Actopan y de Pachuca, ubicadas en la parte tercio nororiental del área de estudio, se han excluido del Grupo Pachuca todas las rocas volcánicas con posición estratigráfica parecida, por no haberse estudiado con suficiente detalle para poder correlacionarlos con las diversas formaciones que componen dicho grupo. La acumulación más gruesa, que tiene quizás de 600 a 700 m de espesor total (Segerstrom 1961 p 155), forma la Sierra de Xinthe, ubicada en el borde occidental de la región. Otras acumulaciones de algún significado forman los Cerros de Mexe y Chinfi, ubicados en la parte central de la región, así como el Cerro El Picacho, en el borde Centro-Meridional. La composición petrográfica y el aspecto general de estas rocas volcánicas aisladas, no diferenciadas, se -

asemejan mucho a las del Grupo Pachuca, si es que no son idénticas.

La composición andesítica, predomina, aunque localmente se presentan rocas dacíticas y riolíticas. Las fuentes magmáticas de todas estas rocas probablemente estuvieron comunicados a profundidad o cuando menos tuvieron un mismo origen.

La edad de las rocas volcánicas no diferenciados debe ser igual a del Grupo Pachuca o sea principalmente del Mioceno.

FORMACION ZUMATE (Tpx)

A.R. Geyne y Carl Fries Jr., dieron el nombre de la Formación Zumate debido a que las características mas claras de este tipo de formación estan representadas en la Peña del Zumate.

En las partes mas elevadas de las Sierras de Actopan y Pachuca se presenta una sucesión de rocas andesíticas y dacíticas, formada por la interestratificación de derrames de lava, estratos de brecha y depósitos de lajares (derrames de lodo), yace con marcada discordancia erosional sobre el Grupo Pachuca. Parece que la fuente de suministro de éstas rocas aunque la sucesión está bastante erosionada, esta formación parece haberse acumulado después de la época de mineralización en el Distrito Minero --

Pachucal-Real del Monte. Las capas clásticas que forman la base de la formación Zumate contiene material erosionado de las unidades andesíticas, dacíticas y riolíticas más antiguas; varían en textura desde limolita y arenisca tobácea hasta brecha y conglomerado volcánico grueso.

TOBA DON GUINYO (Tpdg).

En el Cerro Xicuco y el arroyo el corazón ubicados en la parte suroccidental del área de estudio, se encuentran varios pequeños manchones de tobas y brechas riolíticas y dacíticas que representan derrames piroclásticos o ignimbritas. Estos afloramientos no son más que testigos de un manchón más extenso ahora erosionado, que tiene su mayor desarrollo más al poniente del área de estudio. Esta unidad fue nombrada Toba Don Guinyó por Segerstrom 1961 según afloramientos a lo largo de la carretera de Ixmiquilpan a Huichapan en donde esta cruza el arroyo Don Guinyó, a unos 20 kms al poniente de Ixmiquilpan.

En el Cerro de Xicuco aparece una litología muy distinta consistente en una roca afanítica de color ladrillo, con lentes aplastados de obsidiana negra, rasgos que son típicos de cierta clase de ignimbrita a toba soldada.

En dicha localidad la formación tiene como 170 m de -

espesor. A juzgar por la posición estratigráfica y la erosión profunda de esta formación su edad debe corresponder también a mediados del Plioceno.

FORMACION SAN CRISTOBAL (Tpb) y ANDESITA JALPAN (Tpj).

El nombre de Formación San Cristobal se ha propuesto (Geyne et al) para las rocas máficas del Plioceno Tardío que afloran en la región de Pachuca-Real del monte fuera del área de estudio. El nombre proviene del Cerro San Cristobal ubicado justamente al norte de la Ciudad de Pachuca, cuya cima consta de derrames de andesita de olivino y piroxeno. Otros derrames asignados a esta formación, sin embargo, tienen composición basáltica. Quedan incluidos los derrames máficos interestratificados con la Formación Atotonilco el Grande, en la cuenca hidrográfica del Río Amayac, al norte de Real del Monte. El espesor máximo en esta región parece aproximarse a los 300 m. El límite suroccidental de la Formación San Cristobal es arbitrario, aunque hasta la fecha no se ha extendido el nombre a más de 5 km al poniente y al sur de la ciudad de Pachuca, no hay razón para que no se haya.

El nombre de Andesita Jalpan aparece en un mapa de Arellano (en Hibbard 1955) para un derrame de lava que aflora -

a lo largo del nuevo tunel de desague de la Cuenca de México a unos 15 km más al sur de Pachuca, fuera del área de estudio. - Segerstrom (1961 p. 159) empleó este nombre para un manchón de andecita en las cercanías del Rancho Santa Ana, ubicado 20 km al oeste-sureste de la ciudad de Pachuca. Extensos afloramientos de esta clase de lava aparecen mas al suroeste, fuera del área de estudio. Tanto en la Cuenca de México como en la Cuenca Hidrográfica del Río Tula y sus afluentes, la Andecita Jalpan y las rocas volcánicas máficos equivalentes, estan interestratificadas localmente con sedimentos clásticos de la Formación Taranga, equivalente de la Formación Atotonilco el Grande, perteneciente a la Cuenca del Río Amajac.

FORMACION TARANGO (Tat) y ATOTONILCO EL GRANDE (tpa)

La mayor parte del área abarcada en este estudio está cubierto por sedimentos clásticos depositados por el agua, la edad de éstos sedimentos corresponde al Plioceno Tardío. Los sedimentos fueron depositados en la superficie de erosión que se desarrolló encima de todas las unidades litológicas anteriores, de manera que pueden encontrarse igualmente encima de las rocas cretácidas mas antiguas, como encima de las rocas Terciarias mas recientes. Su espesor máximo probablemente es de 400 m. -

aunque generalmente es menor. .

Los sedimentos clásticos de esta edad que se presentan en la Cuenca de México y en la Cuenca Hidrográfica del Tío Tula y sus afluentes se reúnen en la Formación Tarango (Bryam 1948); encontrándose esta localidad tipo en la barranca de Tarango en la colonia Mixcoac, de la Ciudad de México. Los sedimentos equivalentes que se presentan en la Cuenca Hidrográfica del Río Amayac fueron reunidos por Segerstrom (1961) en la formación Atotonilco - El Grande, nombre de la población ubicada en este Valle situado al Este y 25 km de Actopan, Hgo.

La Formación Tarango, está representada por material clástico que se acumuló en forma de rellenos en amplios valles. Las rocas anteriores fueron erosionadas y transportadas posteriormente por corrientes de aguas superficiales que se acumularon en los valles, gran cantidad de gravas, arenas, limos y arcillas, resultado del intemperismo en los terrenos altos; estos materiales fueron transportados a las partes más bajas por agentes de erosión como son el agua y el viento. Dichos materiales fueron depositados en forma de abanicos aluviales y en capas horizontales sobre llanuras de inundación. Entre las capas que forman, se intercalan localmente tobas de grano fino, producto de la erosión de tobas preexistentes o de erupciones volcánicas contemporáneas.

DERRAMES DE LAVA (Qb) Y CONOS CINERITICOS (Qbc) DE EDAD CUATERNARIA.

Las rocas pleistocénicas que se presentan en la región consisten principalmente de productos volcánicos basálticos.

El criterio empleado por Carlos Fries Jr., al hacer esta separación consistió en la geomorfología y profundidad del intemperismo. De esta manera se han agrupado en esta unidad todos los conos cineríticos o escoriáceos que conservan su forma característica, aunque muestren erosión algo avanzada. Asimismo, se incluyen todos los derrames de lava que muestran relativamente poca erosión o que fueron extravasados después de que comenzaron a disecarse las Formaciones Tarango y Atotonilco el Grande. Casi todas las rocas incluidas en esta unidad son basaltos de olivino. Su volumen total es muy bajo en comparación con el de las rocas máficas del Plioceno.

ALUVION Y MATERIAL CLASTICO (Qal) DE EDAD CUATERNARIA.

En el área de estudio existen pocas acumulaciones importantes de aluvión y material clástico de edad Cuaternaria, aparte de lo que se encuentra en los lechos de los arroyos actuales, que generalmente no excede de 405 m de espesor. Otros depósitos importantes de aluvión se encuentran en los valles de los Ríos Ac-

topan y Tula. En el primero parece que la acumulación del aluvión está relacionada con el embotellamiento del río en el tramo en donde atraviesa, la caliza de la Formación El Doctor, a unos 11 km al oriente de Ixmiquilpan. En dicho tramo el río lleva un curso anómalo, heredado de la época en que el relleno de la Formación Tarango había alcanzado su nivel máximo. Es casi seguro que en esa época existía un valle ancho, marcado por el curso actual del río a través de la caliza, el cual tenía un relleno compuesto por la formación Tarango. Al comenzar la disección de dicha formación, el río quedó sobrepuesto en la caliza y posteriormente cortó su estrecha barranca actual.

En el valle del Río Tula y su afluente, el Río Tepe, - en las cercanías de Ixmiquilpan, se encuentra otra acumulación importante de aluvión. En este caso también, parece que se debe al embotellamiento del Río Tula, aguas abajo, a 4 km al noreste de Ixmiquilpan, en donde el río está sobrepuesto en rocas volcánicas que en una época estuvieron sepultados por la Formación Tarango. Habiéndose formado su curso sobre la superficie de la Formación Tarango en la época de su nivel máximo, el río tuvo la suerte de tropezar con el sepultado cerro de rocas volcánicas al ir excavando su lecho durante el actual régimen geomorfológico de disección. Encontrando que la masa volcánica es más resistente a

la erosión que la misma Formación Tarango, el río no ha podido ampliar su valle ni tampoco ha podido transportar aguas abajo, todo el material que es llevado a él por sus afluentes más al sur, material que es depositado temporalmente en forma de aluvión que aparecen en el valle del Río Tula, más al sur, probablemente están relacionados con los restos de lava basáltica, que obligaron al río a excavar meandros, que con el tiempo fueron abandonados con su cubierta de aluvión, a medida que el río eliminaba las barreras basálticas y ahondaba su lecho.

Localmente la parte superior de los depósitos clásticos contiene abundantes restos de fósiles de vertebrados extintos del Pleistoceno Tardío. Lo que más abundan son restos de mamut.

Se anexa para facilidad de observar las relaciones estratigráficas de las formaciones mencionadas un bosquejo de la columna anteriormente descrita, aclarándose que la escala vertical no es representativa de los espesores, fig. No. 2.

B). TECTONICA Y GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Uno de los elementos tectónicos que aparecen en el área estudiada está representada por la zona de "fosas tectónicas" o "eje neovolcánico" que aparecen ser una antigua "sutura" (Mos-

BOSQUEJO DE LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HGO.

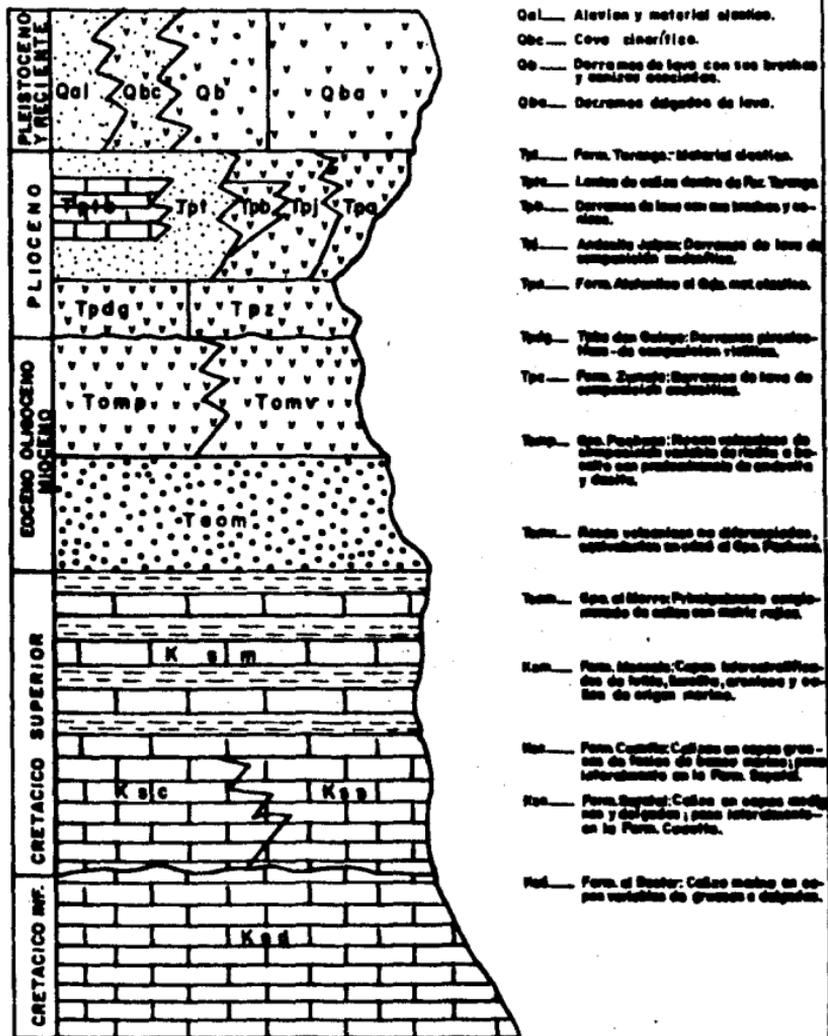


FIG. N° 2

ser 1973), cuya reapertura tuvo lugar en el terciario medio, su curso es irregular y sigzagueante encontrándose dentro de ella -- grandes volcanes: el Cerro el Istaccihuatl, la Malinche, el Popocatepetl y el Pico de Orizaba, en épocas geológicas antiguas la -- "sutura" que ya existía, sufría grandes desplazamientos que provocan gran actividad ígnea originada por el empuje de la placa de Cocos contra la zona de bloques cratónicos al sur de México, este fenómeno ocasiona la formación de grandes fallas como la denominada Tlaloc-Apan-Popocatepetl, Chignahuapan, Malinche, el Carmen, Atoyac-Minas y Nevado-Pachuca, todas estas fallas, al igual que otras que aparecen en la zona de "fosas tectónicas" toman una dirección suroeste-noroeste y sobre de ellas han aparecido grandes volcanes como los ya mencionados. Fig. No. 3.

Existe también un gran número de fallas de menores proporciones, las que se muestran en la fig. No. 3, cuya formación se derivó a fenómenos de asentamientos desde el Plioceno -- hasta el Reciente, cabe indicar que el desplazamiento de estas fallas comenzó a mediados del Terciario y es probable que aún continúe.

Otro elemento tectónico que aparece dentro del área estudiada está representada por los pliegues que forman las estribaciones de la Sierra Madre Oriental.

ZONA DE FOSAS TECTONICAS Y MOVIMIENTO DE PLACAS

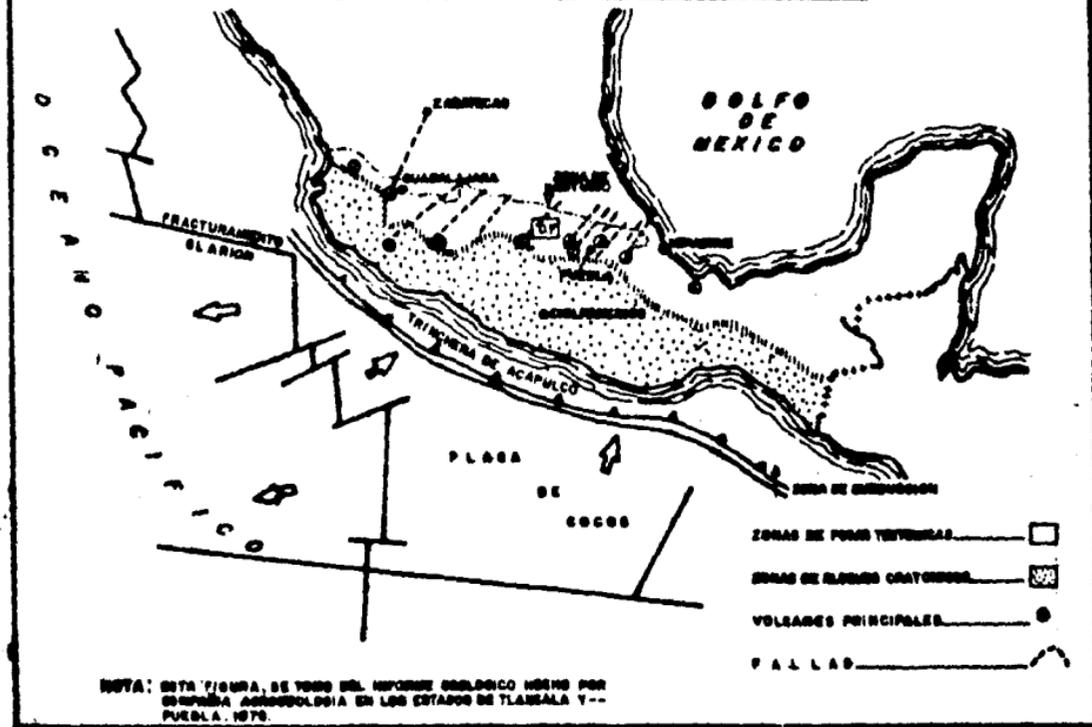


FIG. No 3

GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

El efecto más grande la Orogenia Laramídica es el resultado de fuerzas compresivas que plegaron las rocas mesozoicas en pliegues cuyos ejes están orientados de norte y noroeste, causando a la vez el recostamiento de nucleos de los pliegues hacia el este o al noreste. La profundidad del plegamiento fué desigual de un lugar a otro, de manera que los ejes de las extremidades de los pliegues del área frecuentemente tienen buzamientos opuestos. La parte noroeste del área se caracteriza por anticlinorios y sinclinorios con amplitudes de 5000 a 7000 m mientras que los anticlinales y sincinales más sencillos con menores amplitudes, ocurre en la parte oriental.

El rumbo de los ejes de los pliegues cambia de norte a noroeste en el área al oriente de Zimapán, posiblemente debido a una deformación posterior; pero en general los ejes corren más o menos rectos y paralelos por muchos kilómetros. Las mismas fuerzas que produjeron el plegamiento produjeron un crucero de fractura, fuerte y estrechamente espaciado en las rocas clásticas de las formaciones, Las Trancas, Santuario, Soyatal y Mexcala--Méndez, especialmente en la primera y última de estas unidades litológicas; sin embargo, el efecto se perdió en la caliza el Doctor y en las capas calcáreas menos arcillosas de las formaciones

Santuario y Soyatal, las que tendieron a fluir plásticamente una - gran parte de las lentes de pedernal fueron rotas durante el movimiento plástico de las rocas encajonantes, consistentes principalmente en calizas. No sólo en las rocas mesozoicas, sino también en las cenozoicas, se encuentran fallas normales con poca evidencia de movimientos horizontales. La orientación preferente de las fallas normales en el área de afloramiento de las rocas volcánicas del grupo Pachuca, desde la Sierra de Actopan, hasta la Sierra de Xinthé es aproximadamente de oeste a oeste-noroeste. Las fallas son difíciles de trazarse, excepto donde están ocupadas por diques y vetas. Con excepción del distrito minero de Pachuca-Real del Monte, donde una red de labores subterráneas ha facilitado el estudio del movimiento a lo largo de las fallas, en el resto del área se desconoce que tanto haya sido el desplazamiento cerca de Pachuca se han medido movimientos verticales de 200 a 300 m. En Real del Monte, Hgo., y extendiéndose unos cuantos kilómetros hacia el norte, hay un sistema de fallas con rumbo norte-sur aparentemente más reciente que el sistema este-oeste, pues no contiene diques como los que tiene el sistema este-oeste. Es probable que los afallamientos normales se hayan repetido durante el periodo Cenozoico, si se considera que las rocas Terciarias más antiguas tienen echados más fuertes que las de las rocas más recientes cuyos echados son progresivamente menos acentuados hacia la

parte sur de la sección. Hay fallas que ponen en contacto aluvión con roca sólida en algunos lugares; consecuentemente una parte del afallamiento tiene que ser reciente.

b-1). Comentarios a las secciones estructurales-estratigráficas.

Para objetividad de lo anotado en los incisos de estratigrafía y estructural se construyeron 3 secciones las cuales se describen a continuación (Fig. No. 5).

SECCION AA'A'- Esta sección, tiene una longitud aproximada de 90 km y se encuentra ubicada al Norte de los pueblos de Mixquiahuala y Actopan a una distancia de 10 km. Dicha sección atraviesa rocas volcánicas y sedimentarias, presentando pliegues anticlinales y sinclinales recostados, con una falla normal.

SECCION BB'. - Esta sección tiene una longitud aproximada de 30 km y se encuentra ubicada al Norte de los pueblos de Chicavasco y Tepenene a una distancia de 3 km, en dicha sección predominan Rocas Volcánicas y material clástico.

SECCION CC'C'- Esta sección tiene una longitud aproximada de 58 km y se encuentra ubicada al sur del pueblo de Atitalaquia a una distancia de 6 km, dicha sección atraviesa rocas sedimentarias, volcánicas y material clástico, presentando pliegues anticlinales y sinclinales.

C). GEOLOGIA HISTORICA

PERIODO CRETACICO

La historia geológica registrada en el área de estudio comienza con la acumulación de la parte inferior de la Formación El Doctor, hacia mediados del Albiano. La región estuvo alejada de las tierras emergidas y los limos y arenas de carbonato cálcico junto con los restos de moluscos y otros animales marinos que componen dicha formación, se depositaron en aguas someras sobre el Banco de Ixmiquilpan. Alrededor del banco las aguas tuvieron una profundidad algo mayor, pero parece que no fue muy grande en ninguna parte de esta región, ya que las capas constan de calcilimolita y calcarenita con poco pedernal. Se piensa que la dolomitización mostrada por ciertas capas tuvo lugar durante la época de consolidación y litificación de los sedimentos calcáreos en el fondo del mar. Este proceso continuó hasta el Cenomaniano Temprano, cuando parece que hubo una emersión general, acompañada de un ligero combamiento de las capas. Esto ocasionó la erosión desigual de la superficie emergida.

Al volver a sumergirse en el Turoniano Temprano, el medio ambiente había cambiado notablemente en gran parte del área. No obstante, en el ángulo suroccidental del área de estudio

formó otro banco submarino en aguas someras, sobre el que se acumularon gruesas capas de calcarenita y calcilimolita con abundancia de restos de moluscos, o sea la Formación Cuautla. Mientras tanto, en el ángulo noroccidental la sumersión fue tan rápida que no pudo formarse un banco, sino que se acumularon capas de calcilimolita arcillosa con interestratos de limolita, o sea la Formación Soyatal. El material clásico fue derivado de algunas tierras emergentes cercanas, ubicadas probablemente tanto al poniente como al oriente. A la vez, parece que la mitad oriental de la región quedó emergida durante gran parte, sino en todo el Turoniano.

No hay razón para pensar que hubo otra emersión de la región al final del Turoniano, sino que la sumersión continuó y la sedimentación fue cambiando gradualmente debido al influjo cada vez mayor de material clástico. Es de suponer que la parte occidental de México estaba en movimiento ascendente y la erosión la atacaba más activamente mientras que el volcanismo también aportaba gran cantidad de material clástico. Aunque las capas depositadas en el Coniaciano todavía tenían una mezcla considerable de carbonato cálcico y de caliza, estos materiales iban disminuyendo y los clásticos predominaban cada vez más, para formar las capas de arenisca o grauvaca con interestratos de lutita y de

conglomerado de grano fino que componen la Formación Mexcala, o sea una especie de "flysch" marino de origen preorogénico. No hay manera de saber hasta que fecha continuó la acumulación de la Formación Mexcala, aunque es casi seguro que no cesó antes del Campaniano, y quizás duró hasta la Maestrichtiano temprano. Falta evidencia inequívoca debido a la erosión de la parte superior de la Formación Mexcala. Sólo se sabe que la región emergió del mar antes del final del Cretácico, para no volver a sumergirse hasta la fecha.

PERIODO TERCIARIO.

El levantamiento que parece haber comenzado antes del final del Cretácico se intensificó en el Paleógeno y culminó en el Eoceno temprano con la Orogenia Laramide (De Coerna, 1960, p. 602). Las capas del Eoceno superior, tanto las continentales de esta región como las marinas situadas más al oriente, descansan con discordancia angular en las rocas más antiguas, hasta las del Eoceno inferior. A medida que las rocas de la región fueron ascendiendo y plegándose, se intensificaba la erosión de las partes más elevadas, a tal grado que al final del Eoceno se había removido de las cimas de las anticlinales más elevados de la región, toda la sucesión marina hasta descubrir la parte inferior de la

Formación El Doctor. Al cesar el plegamiento compresional hacia mediados del Eoceno comenzaron a formarse numerosas fallas normales, con la dislocación de la corteza en bloques levantados, hundidos e inclinados. Este proceso dió origen a la acumulación - sobre los bloques en descenso, de los materiales erosionados de - los altos topográficos, produciendo el Grupo El Morro.

El Grupo El Morro, tiene un significado especial, pues es una especie de "molase" continental de origen postorogénico, - que contrasta con el "flysch" marino de la Formación Mexcala, - de origen preorogénico. Parece que se acumuló entre el Eoceno - tardío y el Oligoceno medio. En vista de que las capas de este - grupo casi en todas partes muestran buzamientos notablemente in- inclinados, frecuentemente entre 20° y 60°, con menor inclinación - hacia arriba en la sucesión, es seguro que hubo movimiento acti- vo sobre las fallas durante la época de su acumulación. La gran proporción de detritos gruesos que caracteriza el Grupo El Morro y las unidades equivalentes, también demuestra la presencia de - altos topográficos que aportaron esos materiales. El color rojizo típico de la matriz de esta unidad significa la presencia de suelos rijizos en los terrenos que aportaron el material. Los suelos ro- jos característicamente se forman en terrenos elevados con hume- dad moderada, vegetación no tan abundante como para reducir el fierro en los suelos e infiltración de las aguas hacia abajo, sin

la precipitación de sales. El suelo rojo producido tiene que ser transportado y depositado en un ambiente oxidante, para evitar la reducción del hierro. Por consiguiente, los sedimentos del Grupo El Morro tuvieron que ser depositados en cuencas hidrográficas quizás semiáridas, para poder conservar su color rojizo.

Así es que en esa época se piensa que existieron terrenos elevados húmedos separados por cuencas semiáridas, que en ciertos sitios estuvieron cerrados con régimen endorréico, comprobado por la presencia local de evaporitas. Localmente hubo algo de volcanismo basáltico y andesítico, cuyos productos aumentaron el volumen del grupo.

Parece que los movimientos activos terminaron en el Oligoceno tardío, a la vez que cesó la acumulación del Grupo El Morro. Esto coincidió con la iniciación de una época larga de volcanismo activo, que duró desde el Oligoceno tardío hasta el Plioceno temprano, con la acumulación local de varios miles de metros de rocas volcánicas de composición variable de riolita a andesita y quizá aún de basalto. Este proceso, que caracteriza especialmente todo el Mioceno, indudablemente causó grandes y repetidos cambios topográficos y de la red hidrográfica. No puede escaparse la conclusión de que en esta época siempre hubo bastante relieve con alturas locales de más de 2.000m sobre el nivel

del mar. El Grupo Pachuca, por ejemplo tiene unos 2,500 m de espesor, como mínimo. Parece que esta época de volcanismo culminó en el Plioceno temprano con la intrusión en ciertos lugares de numerosos diques y con otra temporada de fallamiento activo, acompañada o seguida de la mineralización metálica en el distrito de Pachuca y en otros cercanos. Es probable que también hubo un reajuste isostático en los sitios de mayor acumulación de las rocas volcánicas, con relación a sitios de menor acumulación.

Surgió un cambio notable cerca de mediados del Plioceno, consistente en la extravasación de lavas máficas de centros esparcidos en casi toda la región. Esta nueva actividad volcánica -- también produjo cerros elevados separados por cuencas más bajas, de manera que la región siguió con un relieve considerable y alturas grandes sobre el nivel del mar. A la vez, parece que el clima se hizo más frío y comenzaron a acumularse los sedimentos que componen las Formaciones Tarango y Atotonilco el Grande. El fallamiento pudo haber sido una causa de la acumulación de algunos de dichos sedimentos y es seguro que la extravasación de lava máfica causó la interrupción del desagüe en ciertos sitios, para producir largos éfimeros.

PERIODO CUATERNARIO

Al terminar el Plioceno hubo otro cambio notable de --

clima, en este caso hacia una mayor humedad con la acumulación periódica de nieve y hielo glacial en las cumbres más elevadas. En ninguna época, sin embargo, llegaron a formarse glaciares dentro del área de estudio, ni existen depósitos de deshielo en ella. El volcanismo máfico continuó, interrumpiendo el desague en muchos lugares y produciendo lagos o charcos efímeros. Parece que aproximadamente a principios del Pleistoceno el volcanismo basáltico hacia el sur de la Ciudad de México llegó a tapar el desague hacia el sur, formando la actual cuenca endorreica que se extiende en el ángulo suroriental del área de estudio. Con excepción de esta cuenca cerrada, en que se ha acumulado gran espesor de sedimentos aluviales, lacustres y hasta glaciofluviales, el resto de la región estuvo al ataque de una erosión activa, que removió gran parte de los sedimentos pilocénicos de las Formaciones Tarango y Atotonilco el Grande.

Durante el Pleistoceno la región estuvo habitada por gran variedad de mamíferos y otros animales ya desaparecidos. Al terminar la última edad glacial hace aproximadamente 12,000 años, parece que el hombre llegó a la región desde el norte y, en combinación con otro cambio climático hacia una mayor aridez, acabó con numerosos animales que desde tiempos muy antiguos habían habitado en la región la tendencia destructiva del hombre si-

guió durante los milenios y parece que hasta tiempos recientes se ha intentado frenarla y remediarla.

D) GEOHIDROLOGIA

HIDROLOGIA

La hidrogeología es la aplicación de la geología a la búsqueda del agua subterránea. Clasifica a las rocas atendiendo a sus características y comportamiento, con relación a la presencia y movilidad del agua; para ello considera sus características de permeabilidad, porosidad, estructura, extensión, posición relativa respecto a otras rocas y la topografía del terreno en donde afloran; por tanto, se considera que una unidad hidrogeológica comprende un conjunto de rocas que presentan en general características de permeabilidad y funcionamiento hidráulico semejante.

El estudio se ha ido integrando a base de recopilación por zonas, obteniendo datos de las perforaciones de pozos que se han practicado para agua potable, riego y/o abrevadero.

El aspecto fisiográfico es importante considerando que las aguas subterráneas, en general, son principalmente de origen meteórico. Al producirse la precipitación, estas aguas escurren con mayor facilidad en las áreas de configuración abrupta que en

las pendientes suaves.

a) FORMACIONES ACUIFERAS.

Se les dá este nombre a las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua suficiente a los pozos, gracias a los espacios porosos y a la permeabilidad que poseen. La existencia de agua en el subsuelo y movimiento están íntimamente relacionados con las estructuras geológicas. Por lo que para una comprensión mas completa de la hidrología de las aguas subterráneas, se requiere el conocimiento previo de la geología.

Los acuíferos pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados como son: arenas, gravas, gravillas, también por piroclásticos y por rocas sedimentarias mal cementadas o poco compactas, como areniscas; por rocas sedimentarias compactas fracturados, como calizas, por rocas volcánicas fracturadas, como basaltos.

b) TIPOS DE ACUIFEROS.

Desde el punto de vista hidráulico los acuíferos pueden clasificarse en tres tipos principales: confinados, semiconfinados y libres. A un acuífero limitado superior e inferiormente por formaciones relativamente impermeables, que contiene aguas a mayor

presión que la atmosférica, se le da el nombre de acuífero confinado.

Si un acuífero está limitado por formaciones menos permeables que él mismo, pero a través de las cuales puede recibir o ceder, volúmenes significativos de agua, se le llama acuífero "semiconfinado".

En pozos que captan acuíferos confinados o semiconfinados, el nivel del agua asciende arriba del "techo" del acuífero. La superficie imaginaria definida por los niveles del agua de los pozos que penetran este tipo de acuíferos, recibe el nombre de "superficie piezométrica", sus variaciones corresponden a cambios de la presión a que está sometida el agua del acuífero, y puede encontrarse, en un punto dado, arriba o abajo del nivel freático. Cuando dicha superficie se encuentra arriba de la superficie del terreno, da lugar a pozos brotantes. Los acuíferos confinados y semiconfinados pueden transformarse en libres, cuando la superficie piezométrica desciende bajo el techo del acuífero.

Cuando un acuífero tiene como límite superior al nivel freático, se le da el nombre de acuífero "libre". Las variaciones en el espesor saturado del acuífero. Haciendo una analogía con obras, hidráulicas, puede decirse que el acuífero confinado funcio-

na como una tubería a presión, el acuífero libre, como un canal.

Un caso especial de éstos acuíferos son los denominados colgados, en ellos las masas de agua subterránea están soportadas por un estrato de menor permeabilidad situado sobre el nivel freático medio de la zona.

Teniendo en consideración el funcionamiento de cada acuífero se considera que en los Valles de Actopan-Mesquital, Hgo., se encuentran los siguientes tipos: confinados o artesianos, acuíferos libres y acuíferos colgados.

Los confinados se manifiestan en la zona de San Salvador que se encuentra ubicada al NW y a 7 km de la Ciudad de Actopan, las perforaciones realizadas en ese lugar proporcionaron un gasto de 180 L.P.S. con manifestación de artesianismo.

Los semiconfinados se tienen al Sur y SW del Valle de los libres por el Este y SE de Actopan y la presencia de algunos acuíferos colgados al NE del mismo Valle.

De acuerdo a lo anterior, las formaciones presentes en el área se agrupan en tres unidades: impermeables, acuíclados y permeables.

FORMACIONES IMPERMEABLES

FORMACION SOYATAL (Kss)

CALIZA ARCILLOSA LAMINAR CON INTERCALACIONES DE LUTITA EN CAPAS DELGADAS.

FORMACION MEZCALA (Ksm). LUTITAS Y ARENISCAS.

ROCAS VOLCANICAS NO DIFERENCIADAS. (tomv) ROCAS ANDESITICAS, DACITICAS Y RIOLITICAS.

FORMACION ZUMATE (tps). ROCAS ANDESITICAS Y DACITICAS

TOBA DON GUINYO (Tpdg). TOBA SOLDADA O IGNIMBRITA.

FORMACION SAN CRISTOBAL (tpb). DERRAMES DE ANDESITA DE OLIVINO Y PIROXENO.

FORMACIONES ACUICLUDAS.

GRUPO EL MORRO (Teom). CONGLOMERADO CALCAREO ROJIZO CONSOLIDADO DE ORIGEN CONTINENTAL MEZCLADO CON MATERIAL TOBACEO Y DERRAMES DE LAVA BASALTICA A ANDESITICA.

GRUPO PACHUCA. - (Tomp). ROCAS ANDESITICAS, RIOLITICAS Y BASALTICAS.

ANDESITA JALPAN (Tpj). ROCA ANDESITICA INTERESTRATIFICADA CON ROCAS VOLCANICAS MAFICAS Y SEDIMENTOS CLASTICOS. DERRAMES DE LAVA, BASALTOS DE OLIVINO.

FORMACIONES PERMEABLES.

FORMACION EL DOCTOR (kid). CALIZA RELATIVAMENTE PURA - DE ORIGEN MARINO CON TEXTURA VARIADA, LENTES DE PEDERNALE Y INTERCALACIONES DE DOLOMITA Y LUTITAS. EN SU FASE ARRECIFAL PUEDE LLEGAR A FORMAR ACUIFEROS DE IMPORTANCIA.

FORMACION CUAUTLA (Kec). CALIZA BASTANTE PURA EN CAPAS GRUESAS, CON TEXTURA DE CALCARENITA. PUEDE EN OCASIONES FORMAR ACUIFEROS DE IMPORTANCIA.

FORMACION TARANGO (Tpt). PREDOMINA MATERIAL CLASTICO CON INTERCALACIONES LOCALES DE CENIZA VOLCANICA Y DERRAMES DE BASALTO. PUEDE FORMAR ZONAS ACUIFERAS.

ALUVION (Qal). FORMADO POR SUELO VEGETAL Y MATERIAL CLASTICO, PRINCIPALMENTE ORIGEN FLUVIAL.

CAPITULO IV

GEOQUIMICA

GEOQUIMICA

A. INTRODUCCION

La interpretación geoquímica del agua subterránea, se utiliza junto con la geología, hidrología y geofísica, como un auxiliar para reconocer y entender, en una forma más completa, el funcionamiento de los acuíferos y la planeación de una mejor y más racional explotación.

Para efectuar la interpretación geoquímica, se toma en cuenta que, el agua que forma los acuíferos, proviene principalmente de la lluvia, donde parte de ésta, al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas rocas, disolviendo las sales minerales que las forman y produciendo cambios en su composición. La química del agua dependerá de la solubilidad y composición de las rocas por las que circula y de los factores que afecten la solubilidad, como son: las temperaturas del agua y las rocas, el área de contacto del agua con las formaciones, la velocidad de circulación, la longitud del recorrido, la previa composición química del agua y otros factores.

Por lo tanto, la composición del agua está en íntima relación con el funcionamiento general del acuífero. Es por esto

que, a partir de su composición química, se puede obtener la dirección del movimiento del agua subterránea, la localización de las zonas de recarga del acuífero, los tipos de roca a través de las cuales circula, así como algunas características físicas del acuífero y la calidad del agua para usos agrícolas, ganaderos, agropecuarios, potables, turísticos e industriales. A continuación veremos un breve resumen de el tipo de muestras de agua que presenta el área de estudio como complemento a un estudio geohidrológico.

B. INTERPRETACION GEOQUIMICA.

La interpretación geoquímica de las aguas de esta zona se llevó a cabo mediante el análisis del tipo de agua de acuerdo con una modificación a los diagramas de Schoeller, de la concentración del catión litio, del contenido de boro y por último de los sólidos totales disueltos de cada una de las muestras.

C. TIPOS DE AGUA.

Con el objeto de clasificar el agua de acuerdo a su composición química se utilizó el método de los diagramas de Schoeller (1935). Las concentraciones en partes por millón (ppm) de los iones obtenidos en los análisis de las muestras de agua se

INTERPRETACION GEOQUIMICA

85

METODO DE TRABAJO

ANALISIS FISICOS-QUIMICOS

ELABORACION DE PLANOS
Y DIAGRAMAS E INTERPRE-
TACION DE LOS MISMOS.

-SELECCION POR POZOS, NORIAS, GALERIAS
FILTRANTES Y MANANTIALES.

SELECCION Y MUESTREO
DEL AGUA SUBTERRANEA

-MEDICION DE PH Y TEMPERATURA DEL AGUA
EN EL CAMPO.

-OBTENCION DE LA MUESTRA DE AGUA EN BOTE
LLA DE POLIETILENO DE UN LITRO DE CAPACI-
DAD.

DETERMINACION DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO
POTASIO, BICARBONATO, CLORURO, SULFATO.
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS ETC.

TABLA RESUMEN
CONFIGURACIONES
DIAGRAMAS TRIANGULARES
ETC.

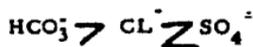
configuraron en estos diagramas uniendo los puntos entre ellas con líneas rectas.

Las escalas de estos diagramas se encuentran en forma logarítmica de tal suerte que pueden servir como monogramas en cuyos extremos se encuentran tabuladas las conversiones entre; partes por millón y concentración en mili equivalentes. Entre los iones graficados se encuentran los cationes Ca, Mg, y Na; y los aniones de Cl, SO₄ y HCO₃.

El análisis de tipo de agua en la zona de estudio se dividió en dos zonas; Zona Izmiquilpan y Zona Tula-Actopan.

a) Zona Izmiquilpan. - Dentro de esta zona se identifican tres grupos de muestras que presentan configuraciones muy similares dentro de estos diagramas.

En general las concentraciones de los aniones se presentan de la siguiente manera:



Por lo que respecta a los cationes dentro de esta zona, estos se presentan en general como sigue:



Por lo que respecta a la zona de Ixmiquilpan se encuentran solamente dos tipos de agua: los del grupo A que corresponden a los manantiales que se encuentran en los alrededores de Ixmiquilpan y al del pozo No. 807 que tiene una profundidad de 133 m y se localiza a un lado de la carretera 85 entre las poblaciones de Actopan e Ixmiquilpan.

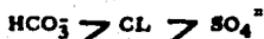
El grupo B está formado por 4 norias con profundidades medias de 45 m localizadas al norte de la población de Ixmiquilpan. La diferencia entre estos grupos A y B estriba en que el grupo A tiene concentraciones de calcio y de magnesio mayores que el grupo B. Por otra parte, las concentraciones de sodio del grupo A son menores que las propias del grupo B. Por lo anterior se deduce que las muestras contenidas en el grupo A provienen principalmente de agua de manantiales que ha viajado a través de formaciones calcáreas de origen sedimentario y de origen ígneo con alto contenido de Mg, como las calizas y basaltos que afloran en esta zona.

En cambio las muestras del grupo B por su bajo contenido en calcio y magnesio y su alto contenido en sodio hacen pensar que el agua muestreada proviene únicamente de los rios de las zonas aldeanas a la población de Ixmiquilpan recargadas en parte de origen meteórico.

En el grupo C, el Ca es mayor que el Na, este grupo es el único que no se parece a los demás, por el hecho, de que las concentraciones de Sodio y Cloro son más bajas.

El análisis tuvo que ser por separado por no corresponder a ninguno de los dos grupos anteriores. Esta separación obedece al bajo contenido de Na y Cl que en este grupo se detectó en el análisis efectuado con respecto a los encontrados en las otras muestras de esta zona.

b) Zona Tula-Actopan. - En esta zona se identifican 4 grupos de aguas; por lo que corresponde a las características generales que presentan estos diagramas logarítmicos, se observa que para casi todos ellos se cumple que los aniones:



De esta relación solamente los del grupo No. 1 muestran que



Por lo que respecta a los cationes, estos en general se presentan como:



Las muestras de los grupos 1 y 4 se pueden reunir -- dentro de un mismo general que se denominará A y que corresponden de principalmente a localizaciones en donde el contenido de litio es mayor que 0.2 ppm y son precisamente casi las únicas muestras que contienen este elemento.

La mayor parte de las muestras de la zona contiene -- altas concentraciones de HCO_3 . Cuando en estas aparecen concentraciones altas de Ca, pueden deberse a que el movimiento del -- agua fue a través de tipo calcáreo, las cuales se encuentran presentes dentro de la región. Por lo que respecta al Sulfato, normalmente se presenta en concentraciones bajas. La presencia de yeso y de anhidrita, debido a su alta solubilidad cuando entra en -- contacto con el agua forma importantes fuentes de este tipo de -- aniones. El sulfato de calcio está muy relacionado con formaciones de yeso. Por lo que corresponde al Cloro, este se puede encontrar en altas concentraciones, sobre todo en rocas de origen sedimentario. El cloro abunda en el agua de mar, de aquí que en -- aquellas rocas que hayn sido formadas por sedimentos marinos, -- el agua se pone en contacto con ellos puede llevar el clor hacia -- una solución y sacarlo hacia la superficie. Los gases volcánicos -- y agua que provienen de manantiales termales contiene grandes cantidades de cloro como, son las muestras del grupo 4 que corres-

penden a manantiales termales. Aún cuando existe el problema de la determinación exacta de la cantidad del agua juvenil que se -- aporta a la zona, ésta se encuentra relacionada con los manantiales termales que en la región, aunque no abundan, pueden ser -- fuentes de abastecimiento e influencia iónica de algunos de los pozos localizados en esta zona.

El litio y el magnesio están íntimamente relacionados - con zonas de reciente actividad volcánica, por consiguiente con la presencia de manantiales de tipo termal. La localización de los - análisis anteriores, en lo que corresponde a las concentraciones - de Ca , Na , SO_4 y HCO_3 , sugiere la presencia de una posible falla o zonas de fracturas tectónicas con orientación general E-W - localizada en la zona que se encuentra entre la población de Tula y el Cerro de los Pechitos. Por lo anterior se puede decir que - en esta zona puede existir aportaciones de agua de tipo juvenil cu ya cantidad no parece ser apreciable pero cuya presencia se su-- giere, el análisis hecho anteriormente.

El grupo No. 2 que se denominará grupo B está formado por solamente 3 muestras localizadas en la región de Tepeji - del Rfo, fuera del área de estudio la profundidad de los pozos -- muestreados varían entre 50 y 100 m, están caracterizados principalmente por una concentración en ppm de sulfato, muy baja pró-

xima a cero.

Normalmente el agua de lluvia contiene concentraciones bajas de sulfato y las aguas negras tienen altos contenidos de sulfato con lo que hace pensar que las localizaciones de este grupo se encuentran en acuíferos que no están influenciados iónicamente por el riego que se lleva a efecto en la zona, lo que hace pensar que los acuíferos explotados no se encuentran recargados por las aguas negras que se utiliza en la región y que tienen concentraciones de este anión mucho más altas que los que presenta este grupo.

Por lo que corresponde al número tres que se denominará grupo C, es el más numeroso dentro de esta zona y está constituida principalmente por muestras de norias, pozos con profundidades máximas de 120.00 m y cinco manantiales localizados hacia el sur de Mixquiahuala, cercanos al Río Tula, estas muestras contienen concentraciones del anión sulfato más bajas que las propias de las muestras de las aguas de riego derivadas. Aparentemente estas muestras aún no se encuentran influenciadas completamente por las aguas para riego, correspondiendo a localizaciones donde la mayor parte del agua puede provenir de la infiltración por lluvia.

En general se nota una estrecha interdependencia entre las muestras de agua tomadas en esta zona y las derivadas para riego, existiendo la posibilidad de que la infiltración del agua de riego alimentan los acuíferos superficiales de esta zona, que son drenados por las formaciones basálticas que subyacen los rellenos del Valle.

Para información complementaria se anexa, ver Tabla No. 1, el resultado del análisis químico de muestras de agua superficial.

RESULTADO DEL ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL .

No.	LOCALIZACION	MUNICIPIO y ESTADO	FECHA	BORO p.p.m.	ANIONES			CATIONES			S.T.D.
					SC ₄ p.p.m.	Cl p.p.m.	CO ₃ p.p.m.	Na p.p.m.	Ca y Mg p.p.m.	K p.p.m.	
1	Canal Requena	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	1.00	19.3	31.8	47.8	41.0	21.6	--	162.0
2	Canal Principal Sur km 44+064	Tula, Hgo.	21 Julio 1967	1.00	36.1	234.3	406.0	376.8	84.8	--	1 138.0
3	Canal Principal Sur km 21+450	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	2.15	19.8	151.3	216.9	197.4	63.6	--	649.0
4	Canal Principal Sur km 31+450	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	2.06	34.0	200.1	269.7	278.4	60.8	--	843.0
5	Presa Tlamaco	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	1.20	17.7	283.1	395.2	396.4	85.6	--	1 172.0
6	Puente Amalia lon 3+540 y Ca- nal Tlamaco Juandho	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	1.50	32.0	292.0	394.2	418.4	71.6	--	1 209.0
		Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	--	34.0	230.6	369.9	389.4	75.2	--	1 149.0
7	Canal Dendho lon 4+780	Tula, Hgo.	1 ^o Julio 1967	0.70	23.8	172.1	203.7	221.2	47.2	--	668.0

TABLA No. 1

CAPITULO V

INVESTIGACIONES DE CAMPO

INVESTIGACIONES DE CAMPO

Durante el desarrollo del Estudio Geohidrológico se llevaron a cabo diversas investigaciones de campo en la zona de estudio, entre las cuales destacan principalmente las siguientes: sondeos geoelectricos, perforaciones de exploración, observación periódica de niveles estáticos y nivelación topográfica de brocales.

A continuación se presentan los principales resultados de las 2 primeras actividades citadas, debido a que las otras dos se detallan en el capítulo número 7 de Hidrología Subterránea.

A. PROSPECCION GEOFISICA (Sondeos Geoelectricos)

Es interesante señalar que a pesar de haber empleado por primera vez la prospección geofísica en el siglo XVII, ésta no tuvo grandes progresos sino hasta principios del siglo XX, cuando aumentaron las dificultades para localizar nuevos depósitos, tanto de hidrocarburos como de minerales útiles por los métodos hasta entonces tradicionales, sin embargo, la aplicación de la prospección geofísica a la geohidrología es mucho más reciente, a principios de la década de los cuarentas, cuando las necesidades de agua aumentaron en forma considerable y no pudieron ser satisfechas completamente con captaciones directas de lluvias o es-

currimientos superficiales. Fue esta necesidad la que motivó tran formar los técnicos geofísicos del petróleo y minería para adaptar tarlos a las necesidades de la geohidrología.

Es conveniente mencionar que en nuestro país existen so nas áridas y semi-áridas, las cuales cubren más del 65% de la - superficie, y dado que el único recurso disponible en ella es el - agua subterránea, esta adquiere singular importancia.

La prospección geofísica básicamente consiste en la rea- lización de mediciones donde la superficie del suelo, encaminados a suministrar información acerca de las propiedades físicas de los ma- teriales del subsuelo. Esta información interpretada de forma - adecuada puede utilizarse para localizar estructuras geológicas fa- vorables donde se encuentre: agua, hidrocarburos o minerales úti- les. Esta definición establece una característica general de gran - atractivo que constituye, por otra parte, la razón de su desarro- llo, y es que, al realizarse la investigación del subsuelo desde la su- perficie, la geofísica se convierte en un sustituto parcial con -- ventajas económicas de la observación directa.

En los últimos 10 años se ha llevado a cabo 22 sondeos geoelectrónicos de relaciones de caída de potencial (RCP) y resisti- vidad, hasta una profundidad teórica de 300 m para la primera -

curva (RCP), y de 600 m para la curva de resistividad. Es conveniente hacer notar que los resultados obtenidos fueron satisfactorios tanto en la detección de la profundidad de la cima de un estrato compacto que correspondió en este caso a un basalto fracturado, -- como también en los cuerpos de arriba de dicha roca fueron descritos como alternancias de tobas y coladas basálticas. Lo anterior se confirma por la columna litológica respectiva. Por lo tanto se -- considera que las interpretaciones obtenidas en los demás sondeos geoelectricos son confiables. Esto se ha podido confirmar con los sondeos S-1 en el pozo Tepatepec No. 5, S-2 en el pozo Tepatepec No. 6, y S-3 en el pozo Mixquiahuala 2. (Figs. 6-7-8.)

B. METODO DE OPERACIONES

Arreglos de Electrodo.

En los primeros 7 sondeos geoelectricos se emplea una disposición geométrica de 6 electrodos tal como se muestra en la fig. No. 9 con la cual es posible hacer lecturas simultáneas, tanto para la segunda variante del método de R.C.P. como para una modificación del arreglo Wenner para la resistividad.

En dicho arreglo se guarda una relación de $rc = 6a$, -- para el método de R.C.P. y de $\frac{L}{g} = 6$ para la resistividad como -- se ilustra en la mencionada figura. En la figura No. 10 se mues

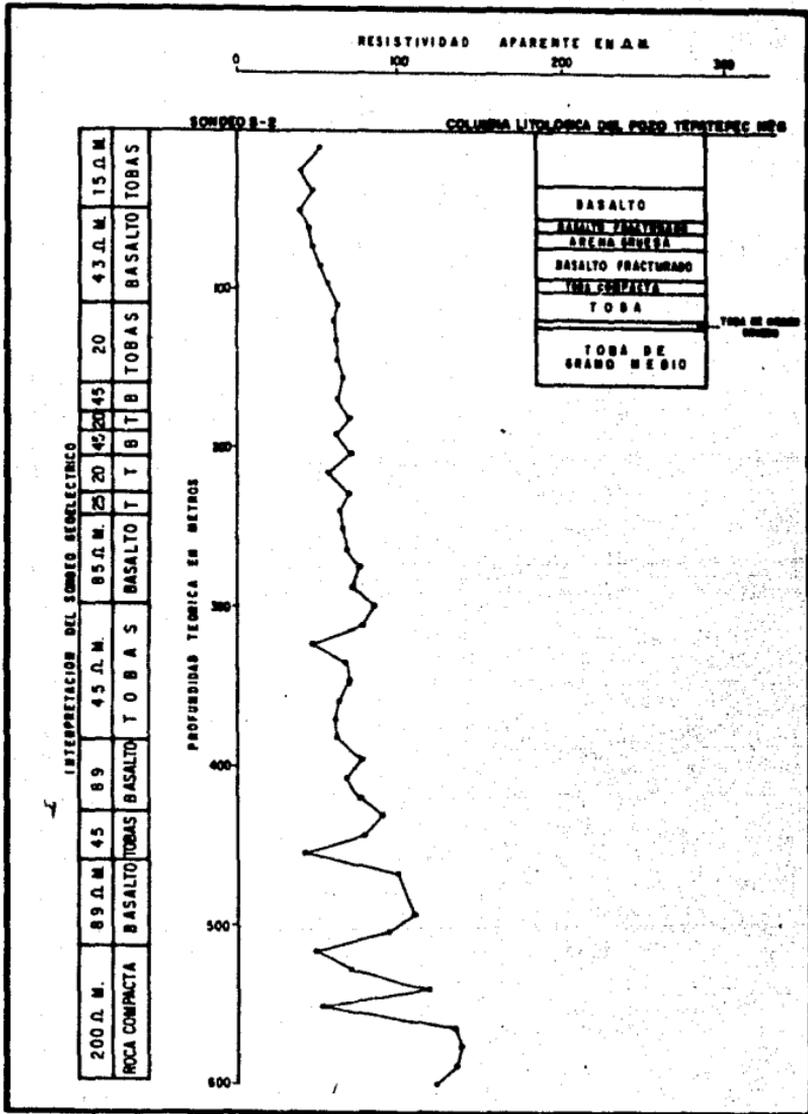


FIG. N.º 7

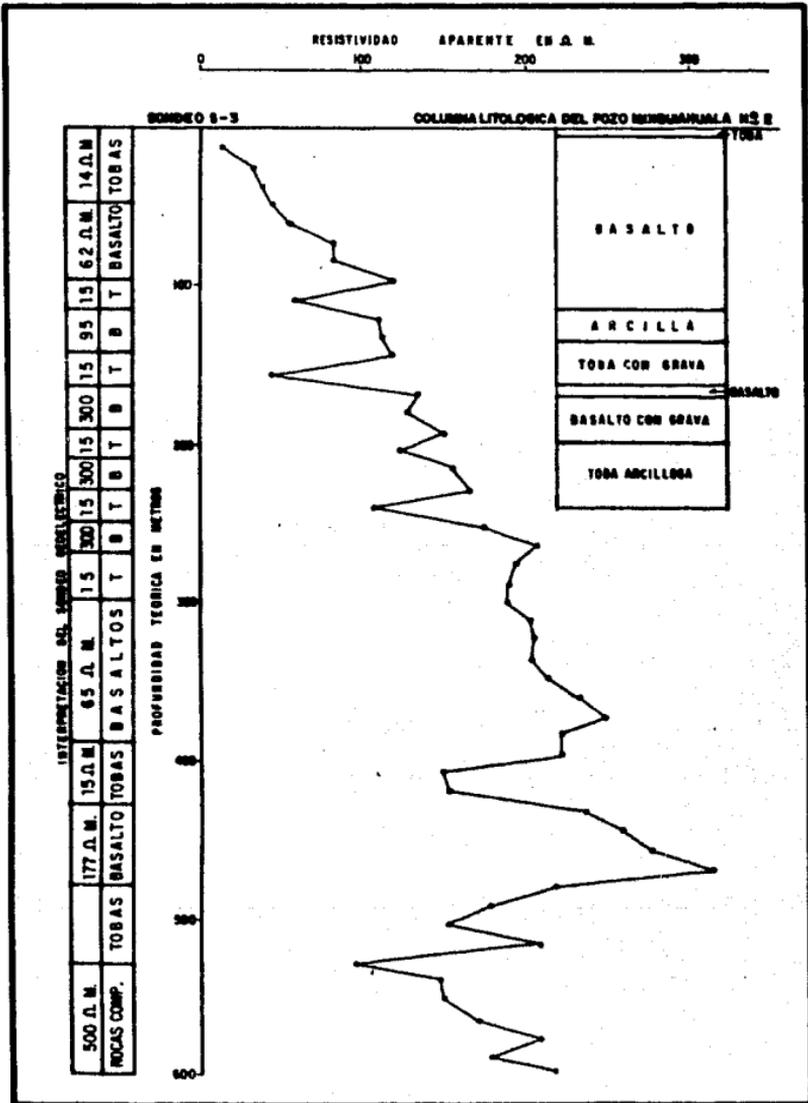


FIG. N.º 8

tra un arreglo geométrico tipo schlumberger, el cual se utilizó -
 en los sondeos geoelectricos que se escriben en este informe.

Cálculo. - Las curvas de RCP y resistividad aparente -
 obtenidas para cada sondeo geoelectrico, se calcularon empleando
 las fórmulas ya establecidas que existen para dichos métodos.

Para el caso R. C. P. las lecturas de campo se corri-
 gen por el factor geométrico F dado por la siguiente expresión.

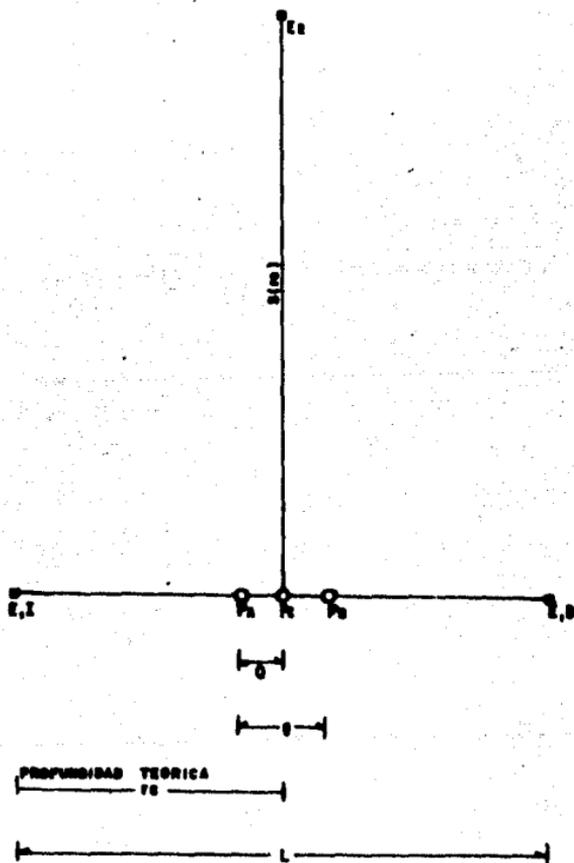
$$F = \frac{rc + a}{rc - a}$$

La resistividad aparente se calculó por la fórmula co-
 rrespondiente a un arreglo simétrico tetraplar en línea, según la
 siguiente fórmula:

$$I = \frac{\pi \left[\left(\frac{L}{2} \right)^2 - \left(\frac{R}{2} \right)^2 \right]}{s} \Delta V$$

Las resistividades simétricas y espesores se calcularon
 aplicando la teoría de refracción que sufre un campo eléctrico de
 baja frecuencia en la frontera entre dos medios de diferente resis-
 tividad. Este método ha dado buenos resultados en esta zona, donde
 se hace necesaria la distribución de pequeños espesores de estratos
 lo cual se ha podido comprobar en las reinterpretaciones efectua-
 das en los sondeos geoelectricos que han coincidido con perfora--

**ARREGLO TÍPICO DE ELECTRODOS PARA RCP
Y RESISTIVIDAD SIMULTANEAS**



E_1 y E_2 = Electrodo de corriente, izquierdo y derecho respectivamente.
 E_2 = Electrodo de corriente lejano. P_A, P_B, P_C = Electrodo de potencial.
 a = Variante del RCP, $r_0 = 0.6$
 Resistividad Variante del Arreglo Wams $\frac{1}{2} = 0.5$

FIG. Nº 9

DISPOSICION CONVENCIONAL DE ELECTRODOS

ARREGLO SCHLUMBERGER

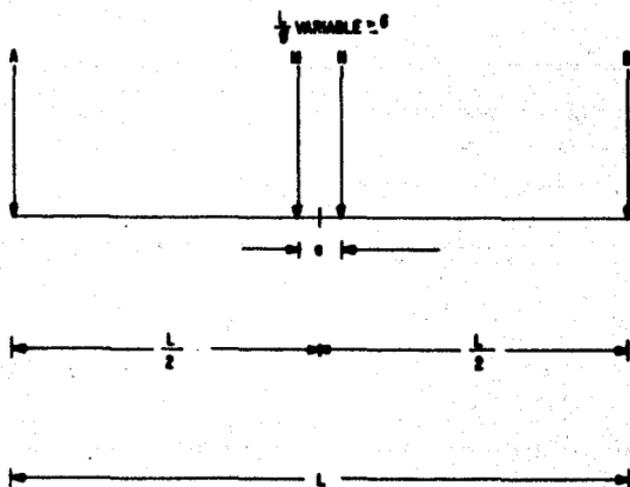


FIG. Nº 10

ción de exploración.

C. Equipo empleado.

El terreno por estudiar fue excitado artificialmente por medio de un generador eléctrico de 25 c.p.s. y 350 watts de potencia con voltajes de salida de 110/220, los cuales a través de un transformador pueden aumentarse a 330, 440, 550 y 600 volts según lo requieran las necesidades del terreno por estudiar. El instrumento medidor de los potenciales y corrientes que intervienen en el cálculo, consiste fundamentalmente de un voltmetro de alta impedancia de entrada y un miliamperes, respectivamente.

D. Resultados.

Los resultados obtenidos se discuten en dos formas, la primera es un intento de correlación de un horizonte de alta resistividad posiblemente compacto entre sondeos geoelectricos próximos y sensiblemente alineados entre sí, dado lo variable de la geología existente en la zona, esta roca pudiera corresponder en algunos casos a roca ígnea y en otro posiblemente a calizas.

La otra forma es la interpretación individual de cada sondeo presentada en gráficas cuyo eje horizontal indica valores de resistividad aparente y el eje vertical la profundidad teórica

explorada. Actualmente las profundidades y espesores de los estratos determinados geofísicamente tienen un error de aproximación del orden de 5% la cual se ha podido comprobar en profundidades hasta el orden de 400 m, en los pozos de exploración.

Correlación.

En la mayoría de los sondeos geoelectricos, se acusan claramente la presencia de un material de alta resistividad posiblemente compacta cuya cima tiene una profundidad que varía de 95 a 530 m.

A continuación se describe una sección geoelectrica en la cual se da una posible correlación de una roca compacta entre sondeos ubicados sobre un mismo valle y sensiblemente en línea recta, en la figura No. 11, se muestra la ubicación de esta sección.

Sección No. 1 (S-4, S-1, S-2, S-3).

Como puede verse en la figura No. 11 de localización, esta sección comprende una longitud del orden de 18 km, sobre un amplio valle alargado en dirección E-W en donde se ubican los poblados de Actopan, Tepatepec y Mixquiahuala.

La correlación posible roca compacta acusa en su profundidad un buzamiento hacia el poniente, ya que el S-1 lo detecta

PLANO DE LOCALIZACION DE LOS SONDEOS

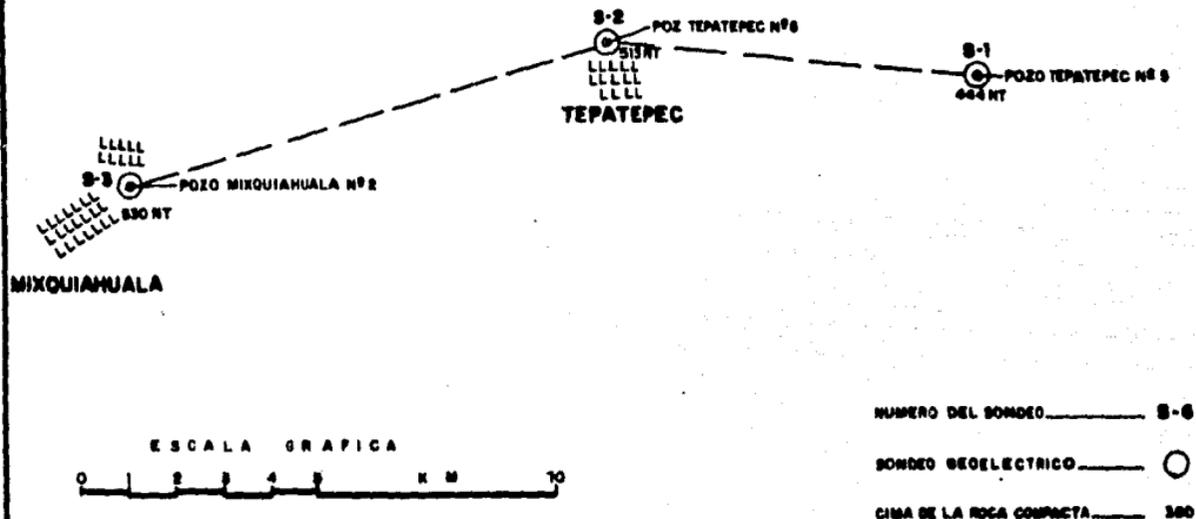


FIG. N° II

a los 444 m de profundidad y en los sondeos S-2 y S-3 su profundidad es de 520 m y parece continuar hasta la profundidad explorada que en estos casos fué de 600 m. Los materiales que descansan sobre la posible roca compacta parece corresponder generalmente a basaltos fracturados y tobas, cuyas correlaciones no se efectuaron por encontrarse los sondeos a distancias mayores de 1 km en una zona donde lo variable de la geología existente no garantiza una continuidad horizontal. Ver figura No. 12.

E. PERFORACION DE EXPLORACION

Una vez hechos los estudios previos a la perforación en la zona de interés y elegido el mejor sitio para perforar, se acondicionó el camino de acceso para el traslado de un equipo de perforación.

La mayoría de los pozos perforados en el área de estudio, por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas se han efectuado con equipos marcas G.M.C. "Chicago Pneumatic" con circulación directa de lodos de perforación, a continuación se describen algunos pozos perforados, así como su localización encontrándose ubicados en el plano figura No. 13.

PERFIL DE TERMINACION DE LOS CONTACTOS GEOLOGICOS POR PROSECCION GEOELECTRICA

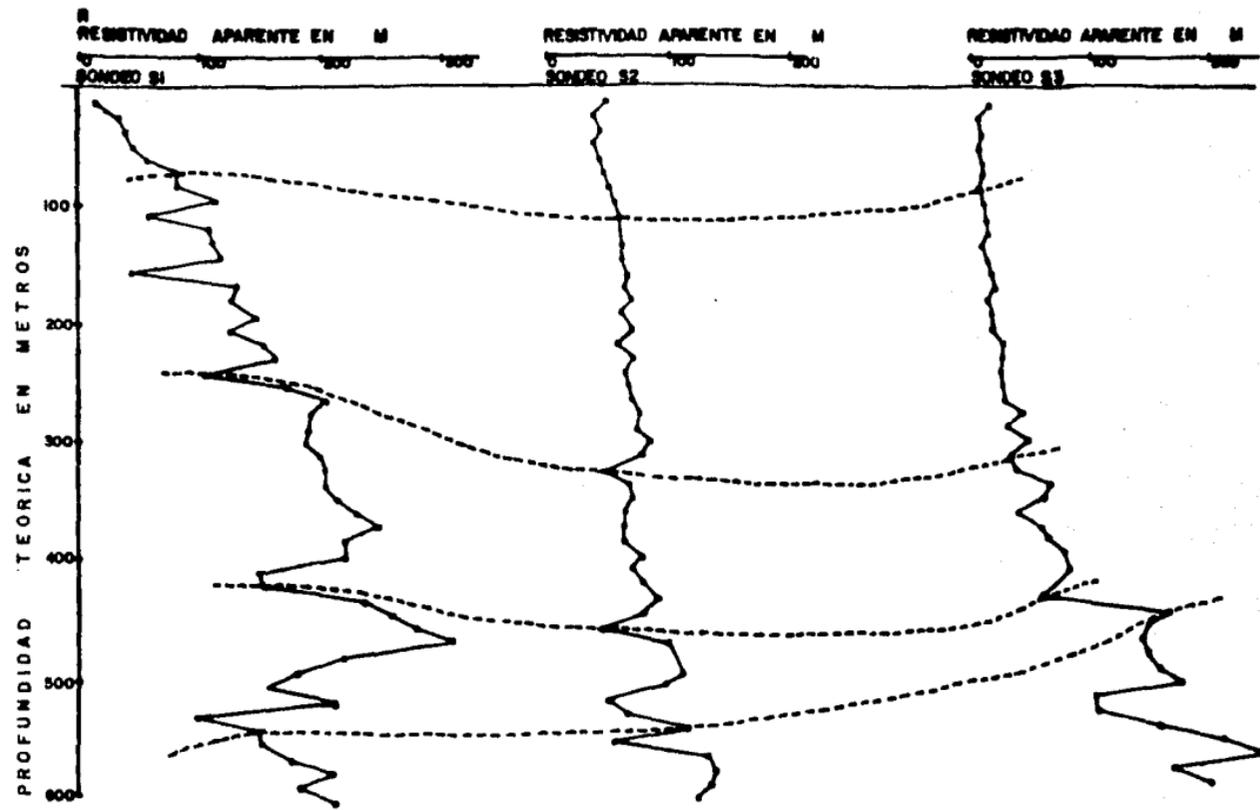


FIG. Nº 12

POZO CAPULA No. 1

Este pozo se encuentra situado al noreste del poblado de Capula, el cual a su vez se localiza a unos 12 km al noreste de Ixmiquilpan, Hgo., su construcción tuvo por objeto explorar el nivel piezométrico de los acuíferos en calizas en la región que aparentemente tienen su fleija de salida hacia el norte y el noreste de la zona de estudio.

La perforación se inició con un diámetro de 12 1/4" - (311 mm), alcanzando en su etapa inicial una profundidad de 250m. A esta profundidad se presentó una pérdida total del fluido de circulación, lo que impidió la continuación de la perforación por medio de máquina rotatoria. Se continuó hasta los 270 m con máquina de pulseta y sus características de diámetro y terminación -- quedaron como se muestra en la figura No. 14.

Se hizo un aforo inicial obteniéndose un gasto máximo de 33.3 L.P.S. y un nivel dinámico a los 101.2 m. El nivel estático original se encontró a los 70 m de profundidad. Posteriormente se efectuó un tratamiento con ácido clorhídrico y nitrógeno, obteniéndose después de su limpieza en el último aforo un gasto máximo de 91 LPS, con un nivel dinámico de 90.55m, manteniéndose el mismo nivel estático de 70 m de profundidad. El pozo --

quedó perforado totalmente en caliza de la Formación El Doctor, del Cretácico Inferior.

POZO TEPATEPEC No. 5.

El pozo se encuentra situado sobre el lado norte de la carretera entre Tepatepec y Actopan y aproximadamente a 500 m al occidente del poblado de San Antonio, municipio de Tepatepec - Hgo.

Este pozo tuvo por objeto investigar el tipo de materiales de relleno del valle entre Mixquiahuala y Actopan y de ser posible alcanzar la roca basal impermeable. La perforación de este pozo se inició con un diámetro de 12 1/4" (311 mm) y alcanzó una profundidad total de 400 m.

En el transcurso de la perforación se atravesaron una serie de derrames de basaltos intercalados en tobas arenosas de diferentes granulometrias observándose una gran variedad de espesores de basaltos, como puede verse en el corte litológico mostrado en la figura 15 en la cual también se dan las características constructivas del pozo que quedó terminado como de bombeo a pesar de que se cortaron varios cuerpos de basaltos, los resultados de las pruebas de desarrollo y aforo fueron indicadores de una ba-

POZO TEPATEPEC N°5

CORTE DE TERMINACION

CORTE LITOLOGICO

DIAMETRO ADEME
8"

400.00 m.

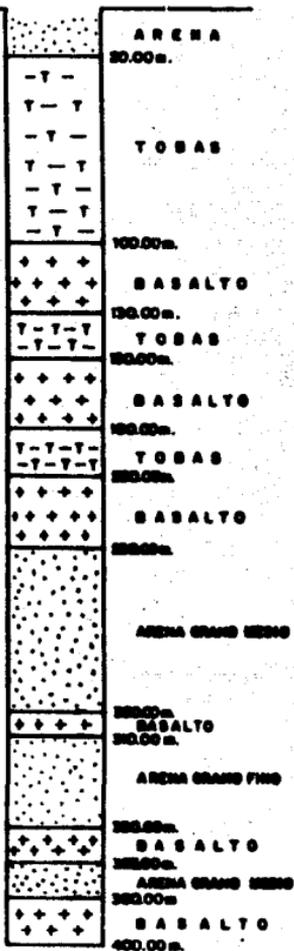


FIG. N° 15

ja capacidad.

A = 56.4 LPS
NE = 39.66
ND = 71.91

POZO CHILCUAUTLA No. 9

El pozo Chilcuautla No. 9, fué localizado al lado poniente de la carretera Mixquiahuala-Ixmiquilpan a unos escasos 500 m de esa misma en la desviación a Chilcuautla. La perforación tuvo por objeto alcanzar las calizas acúfferas que afloran en la región y conocer su nivel piezométrico.

La perforación se inició con un diámetro de 12 1/4" (311 mm), alcanzándose una profundidad total de 205 m.

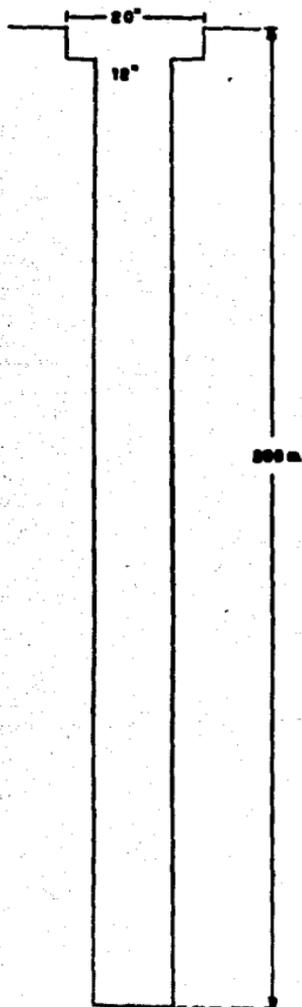
Durante toda la perforación se atravesaron formaciones calizas con intercalaciones de lutita. Parece ser que no se entró a la Formación El Doctor.

Las características constructivas y el corte litológico generalizado puede observarse en la figura 16.

Durante la perforación se observaron varios perdidos de circulación, una a los 154 m otra de 191.4 m y la última a la profundidad total del pozo. El nivel estático se estabilizó a los 97 m de profundidad. Este pozo quedó únicamente como de obser-

POZO CHILCUANTLA No. 9

CORTE DE TERMINACION



CORTE LITOLÓGICO

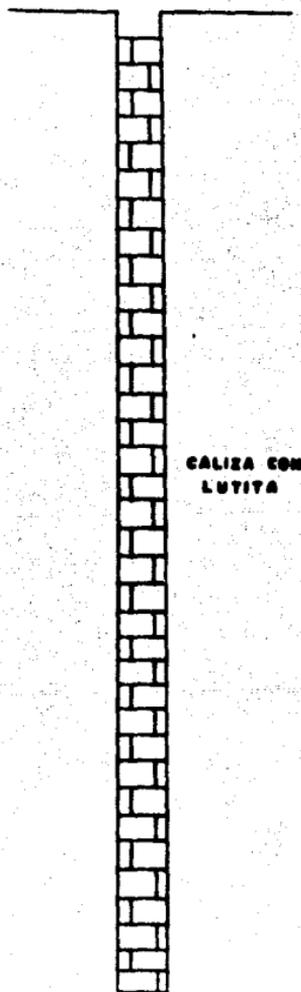


FIG. Nº 16

POZO EL ARENAL No. 42 (PHCB-42)

Se localiza a 8 km en línea recta al sur de la ciudad de Actopan, sus coordenadas geográficas tomadas del plano de carreteras elaborado por la SOP son:

Latitud norte 20°15'
Longitud al W Greenwich 97°56'

Tomando como referencia la ciudad de Actopan por la carretera a México, con una distancia de 8 km se encuentra el poblado de El Arenal desviándose con rumbo al oeste por un camino de terracería con un recorrido de 2 km hay una brecha a la derecha continuando por ésta a 500.00 m está el sitio de la perforación.

La perforación se efectuó con diámetro de exploración de 8" de 0.00 a 160.00 m, se elaboró el diseño de terminación de acuerdo con los datos aportados durante la perforación, su corte litológico y su registro eléctrico, se amplió con un diámetro de 18" de 0.00 a 120.00 m.

Se colocó tubería de ademe de 12" de diámetro con una longitud de tubería lisa de 0.00 a 60.00 m y de 60.00 a 120.00 m tubería ranurada, colocándose filtro de grava en toda su longitud -

POZO CAPULA No. 1

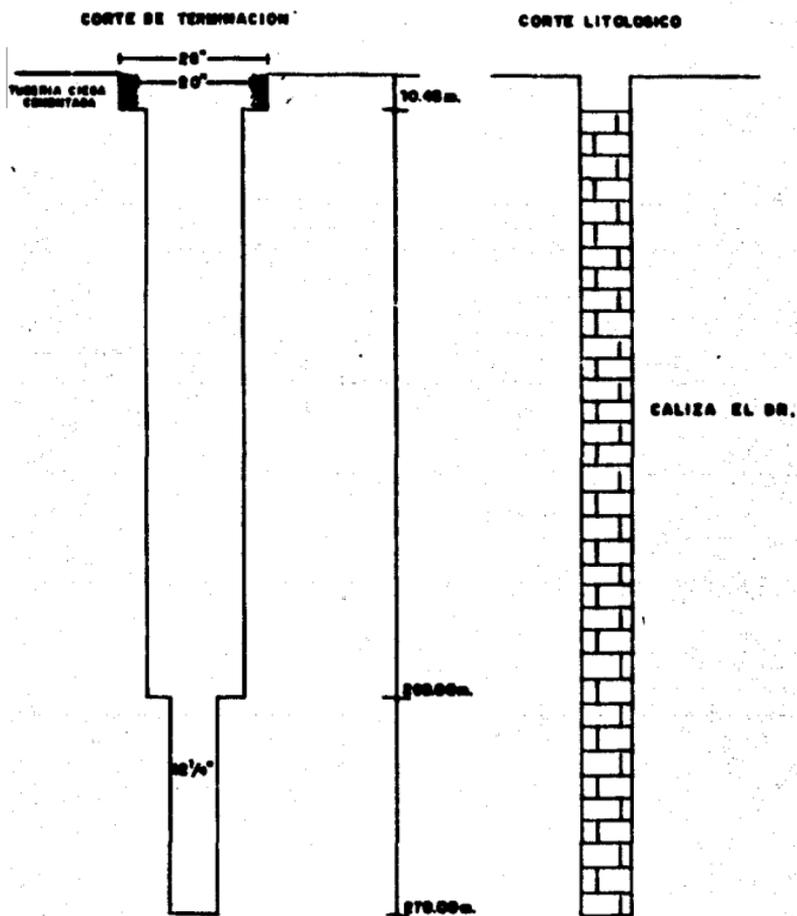


FIG. N° 14

ademada y quedando tramo libre de 120.00 a su profundidad total de 160.00 m.

En esta prueba se utilizó una bomba marca "Fairbanks-Morse" de 20 tazones en diámetro de succión y descarga de 3", - con motor "General Motors" con potencia de 100 HP.

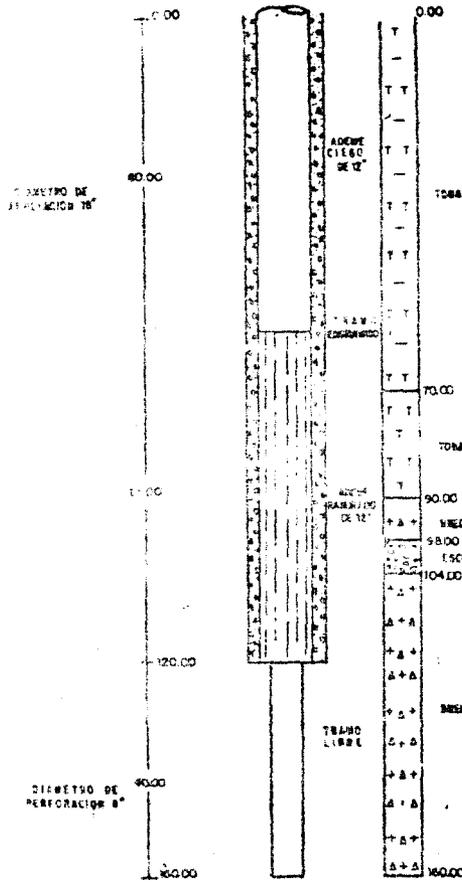
La prueba se inició con un tratamiento de 48 horas, antes del aforo bacado en aplicar dispersor de arcillas y utilizar el - pozo con el fin de obtener un mejor resultado al efectuar el aforo los resultados obtenidos se anexan en la fig. No. 18.

Para información complementaria se anexa, ver tabla No. 2 , una relación de pozos perforados en el área de estudio por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Dirección de Geohidrología y de zonas áridas.

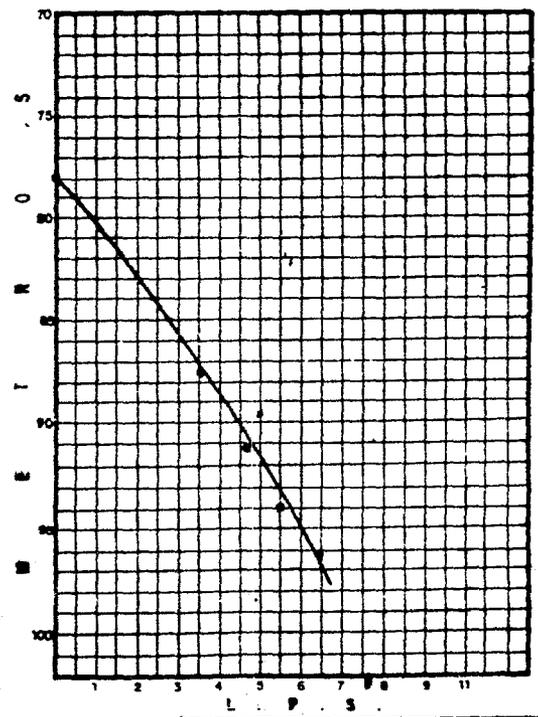
F) REGISTROS GEOFISICOS DE POZOS

INTRODUCCION

Los registros geofísicos de pozos representan en la actualidad un método seguro y económico para la obtención de datos del subsuelo, al efectuarse la perforación de pozos que tengan como objetivo la localización de hidrocarburos, agua o minerales. El de cubrimiento y desarrollo de los registros geofísicos para pozos, --



BOMBEO				
L.P.S.	M.E.	N.D.	ASTO.	R.P.M.
	77.90			
3.88		87.41	8.61	2200
4.53		91.43	13.63	2200
6.40		96.90	16.70	2400



U N A M
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA

**CORTE DE TERMINACION Y COLUMNA
 LITOLÓGICA POZO PHCB-42**

TESIS PROFESIONAL

JOSE ANDRES VAZQUEZ Z. | MEXICO, D.F. | ANEXO No.

FIG. N° 10

fue motivado por las exigencias de la industria petrolera, siendo en Francia donde se dieron los primeros pasos, y es al Ingeniero Conrad Schlumberger y a su familia a quienes se deben las primeras investigaciones realizadas sobre el tema, las cuales se iniciaron -- temporalmente suspendidas durante 1914, a consecuencia de la primera guerra mundial, reanudándose en 1919. Sin embargo, no fue sino hasta septiembre de 1927 cuando sus trabajos dejaron de ser medidas superficiales utilizándose por vez primera en un pozo petrolero ubicado en Alsacia.

Este primer registro consistió en una sola curva de resistividad eléctrica, obtenida por mediciones hechas metro a metro a lo largo de la pared del pozo. A partir de este registro de resistividad, se han venido desarrollando otras herramientas con fines petroleros, y han aparecido los registros radioactivos, acústicos, temperatura, etc. Durante su desarrollo se observó la utilidad de estas en otras áreas, como en la prospección minera o hidrológica, constituyéndose así la interpretación de registros en toda una técnica con variadísimas aplicaciones. En nuestro caso, la utilidad que se obrendrá de los registros, está enfocada a la prospección de aguas.

Naturalmente que las herramientas utilizadas en la prospección de pozos para agua, no necesitan ser tan sofisticadas

como las utilizadas en los pozos petroleros, ya que los análisis -
cuantitativos elaborados en los registros de prospección hidrológica
no van más allá de considerar la porosidad del cuerpo acuífero,
grado de salinidad del agua por él almacenada, espesor del cuerpo
acuífero y cualitativamente la permeabilidad.

Con el objeto de lograr el aprovechamiento adecuado de
los registros tomados en la perforación de pozos de agua, se des-
cribirán las más comunes, así como una breve introducción a los
mismos. Un registro es la representación gráfica (conductividad, -
resistividad, dureza) de una característica física de la roca contra
la profundidad.

G. REGISTRO ELECTRICO

La función principal de el registro eléctrico en la loca-
lización de cuerpos con aguas subterráneas, es determinar el espe-
sor de los diferentes materiales que van a formar la columna lito-
lógica atravesada durante la perforación facilitar las correlaciones
y para estimar el carácter químico del fluido intersticial.

El registro eléctrico está constituido por una curva de
potencial natural (SP) en el carril izquierdo y tres curvas de re-
sistividad en los carriles derechos. Tanto el potencial natural co-
mo las resistividades, son registradas simultáneamente en una --

sola "corrida" o viaje de la sonda que se hace siempre desde el fondo del pozo a la superficie.

Las mediciones de los parámetros mencionados, solo pueden efectuarse en los pozos que no tienen ademe o tubería de revestimiento y que estén llenos de un fluido conductivo.

El procedimiento para obtener el registro eléctrico con siste en bajar un sistema de electrodos sobre un cable multiconductor aislado, hasta el fondo del pozo y al subirlo a la superficie registrarlo de acuerdo a la profundidad, las lecturas correspondientes a los parámetros medidos sobre un papel con las escalas convenientes.

CURVA DE POTENCIAL ESPONTANEO

La curva de potencial espontáneo, es el registro de los potenciales naturales que se generan en el pozo, siendo la representación de las diferencias de potencial que existe entre un electrodo con potencial fijo colocado en la superficie y otro que se introduce al pozo. Las variaciones de la curva reflejan las diferencias de potencial entre puntos dentro del agujero frente a rocas porosas y puntos frente a cuerpos arcillosos. Cuando las rocas atravesadas están constituidas por capas de arcilla o lutita, se --

observa que tienen aproximadamente el mismo potencial, lo cual provoca que en la curva del potencial espontáneo aparezca casi una línea recta vertical, llamada "línea base de lutitas". En capas de suficiente espesor y permeables tiende alcanzar una desviación definiendo una línea de arenas. La desviación puede ser hacia la izquierda (negativa) o hacia la derecha (positiva) dependiendo de las salinidades relativas del agua de formación con respecto al filtrado de lodo. La posición de la línea de arcillas en el registro no tiene un significado útil la interpretación.

El SP no se puede registrar en pozos llenos de lodos no conductivos porque tales lodos no forman una conexión eléctrica entre el electrodo del SP y la formación. Además si las resistividades del filtrado de lodo y el agua de formación son del mismo valor, las desviaciones del SP serán pequeñas y la curva será achatada sin variaciones apreciables. En general la curva de potencial espontáneo permite obtener la siguiente información.

1. Detectar capas permeables.
2. Ubicar sus límites y permitir la correlación entre capas.
3. Determinar en forma aproximada la resistividad (o bien la salinidad) del agua contenida en la roca.
4. Dar valores cualitativos del contenido arcilloso de una capa.

Las unidades de medidas para estas curvas son:

SP (potencial natural) en millivolts y no tiene cero absoluto, por tal motivo, se utiliza la línea base de las ar-
cillas para su contabilidad.

CURVAS DE RESISTIVIDAD.

Las curvas normal corta, normal larga y lateral, se miden en unidades de resistividad, es decir en $\text{ohms m}^2/\text{m}$ contándose de la línea izquierda como cero y creciendo hacia la derecha, en escalas que pueden ser de:

(0-20) (0-50) (0-200) (0-2000) ohms. m.

La generación de estas curvas se hacen por medio de arreglo de electrodos con diferente espaciamiento entre el electrodo de corriente y los de medida.

La curva normal corta se obtiene con un arreglo de -- electrodos espaciado a 0.40 m.

La curva normal larga se obtiene con un arreglo de - electrodos espaciados a 1.6 m.

La curva lateral se obtiene con un arreglo de electro- dos espaciados a 5.7 m.

El objetivo de contar con estas tres curvas de resistividad es que cada una de ellas investiga horizontalmente a diferentes profundidades, obteniéndose información con las tres curvas en distancias que van de 0.40 m - 5.7 m alrededor del pozo, lográndose así la interpretación cualitativa de los distintos tipos de fluidos que pueden alojarse alrededor de un pozo.

Como ejemplos de este tipo de registro se muestran los registros de los pozos: Chimalpa No. 42 y San Salvador No. 45. - Los intervalos productores de cada pozo se encuentran de 60.00 m y 2.00 m - 67.50 m respectivamente. (figuras 19 y 20).

Además de este registro, ocasionalmente se utilizan los registros de:

Calibración
Temperatura
Radioactivo

Es conveniente mencionar que generalmente se hace -- uso únicamente del registro eléctrico en pozos someros (máximo 500 m) pero en pozos de profundidades mayores es conveniente el uso de los registros anotados y aún de otros más como el "sónico de porosidad" o el de "densidad de formación compensado".

La utilidad de los registros anotados es la siguiente:

REGISTRO ELECTRICO

FECHA: 1911
LUGAR: ...
N.º ...
CATEGORIA: ...

DESCRIPCION DE LOS HECHOS:
...
...
...

FECHA DE LA OBSERVACION:
...
...
...

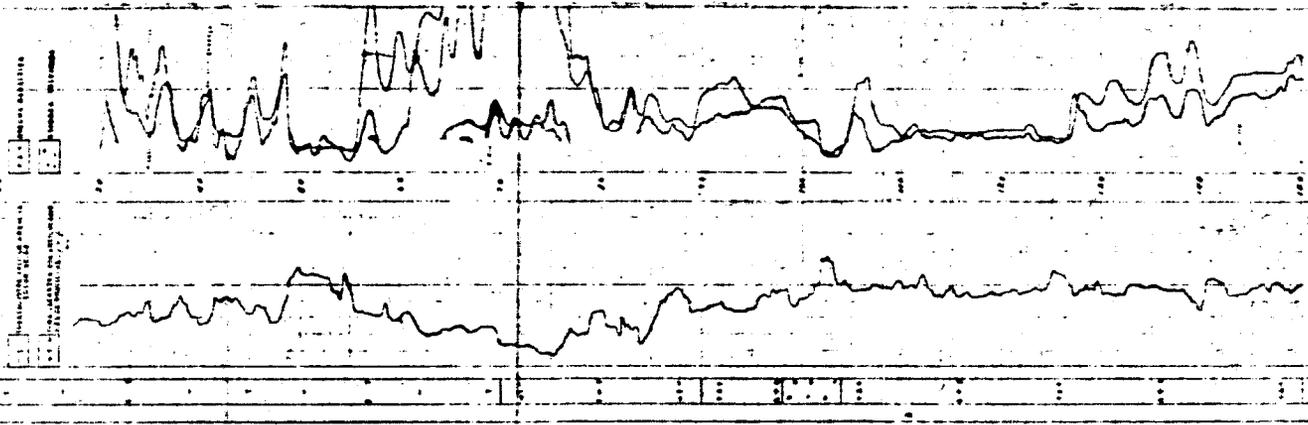


FIG. Nº 19

REGISTRO ELECTRICO

RESIST. 740

INVERSA 4 35

VELOC. 1000 RPM

VELOC. 1000 RPM

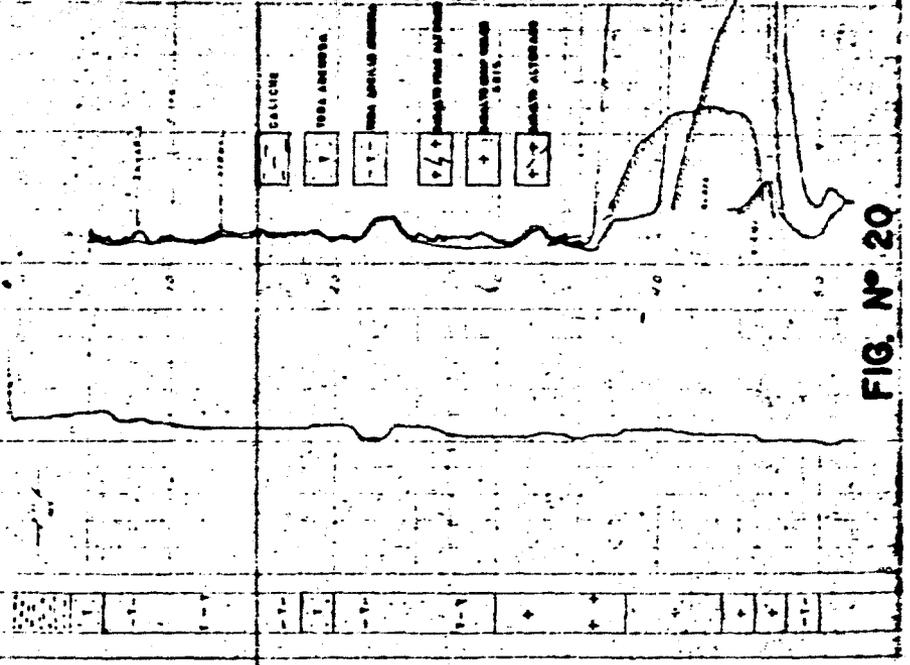


FIG. Nº 20

Registro de Calibración. - Su información es muy importante para conocer las características del diámetro del agujero, condiciones de la pared del pozo, zonas permeables (por disminución del diámetro del agujero) en los intervalos donde se desarrolla enjarre.

Registro de Temperatura. - Indica en los cambios del gradiente geotérmico zonas de entrada de agua o de pérdida de lodo.

Registro radioactivo (Rayos Gamma - Neutrón). - Indica con su curva del carril izquierdo (curva de Rayos Gamma) las zonas arcillosas o limpias de arcilla y con la curva del carril derecho (curva neutrón) se puede cuantificar la porosidad en función del índice de hidrógeno presente en la roca.

TABLA No. 2

POZOS PERFORADOS POR LA S. A. R. H.

No.	NOMBRE	Prof. Total	NE	ND	Q/LPS	USO
1.	CAPULA No. 1	250 m	70.00 m	101.20 m	91.00	Agua potable
2.	Mixquiahuala No. 1	242 m	-	-	-	-
3.	Actopan No. 3	400 m	23.00 m	75.00 m	45.00	Riego
4.	Actopan No. 4	400 m	31.88 m	64.07 m	118.00	Riego
5.	Tepatepec No. 5	400 m	39.66 m	71.91 m	56.40	Riego
6.	Tepatepec No. 6	161 m	44.00 m	70.00 m	65.80	Riego
7.	El Fenix No. 7	215 m	48.15 m	55.90 m	106.00	Agua potable
8.	Chilcuautla No. 9	205 m	97.00 m	-	-	-
9.	Mangas No. 11	137 m	19.80 m	36.98 m	99.00	Riego
10.	Juandho No. 12	141 m	41.45 m	48.80 m	66.50	Riego
11.	Chichimecas No. 13	420 m	43.50 m	85.00 m	13.00	Riego
12.	Teocalco No. 15	412 m	19.30 m	36.78 m	70.00	Industrial
13.	Sta. Mónica PHMB-7	150 m	8.10 m	48.54 m	1.50	Agua potable
14.	La Estancia PHEB-8	100 m	8.40 m	80.00 m	2.00	Riego
15.	La Estancia PHEB-9	100 m	11.00 m	63.08 m	24.00	Riego
16.	Stgo. Tezontiale PHEB-12	150 m	23.90 m	72.48 m	0.75	Riego
17.	La Estancia PHEB-14	52 m	34.00 m	38.80 m	120.00	Industrial
18.	Pachuquilla PHPB-18	100 m	48.20 m	75.00 m	10.00	Agua potable
19.	Dajiedhi PHDB-21	125 m	90.00 m	seco	seco	Agua potable
20.	Dajiedhi PHDB-22	150 m	80.00 m	seco	seco	Agua potable
21.	Michimaltongo PHMB-23	151 m	47.23 m	52.17 m	17.95	Agua potable
22.	Pachuquilla PHPB-24	150 m	seco	seco	seco	Agua potable
23.	Sta. Ma. Batha PHMB-25	150 m	64.85 m	101.00 m	9.30	Riego
24.	Chimilpa PHCB-26	150 m	70.00 m	76.63 m	17.08	Agua potable
25.	Mangas PHMB-27	50 m	Brotante	1.01 m	75.91	Agua potable
26.	Mangas PHMB-29	200 m	60.00 m	78.00 m	42.44	Agua potable
27.	La Estancia PHEB-31	150 m	11.30 m	75.66 m	0.50	Riego
28.	Matilde PHMB-30	200 m	60.00 m	78.00 m	42.44	Agua potable
29.	Capula No. 32	150 m	32.00 m	63.00 m	0.60	Riego
30.	Mangas No. 36	50 m	Brotante	1.07 m	75.00	Agua potable
31.	Jasso PHJB-38	60 m	3.10 m	33.90 m	3.58	Agua potable

No.	NOMBRE	Prof. Total	NE	ND	Q/LPS	USO
32.	El Mexe PHAB-40	150 m	55.66 m	68.00 m	27.50	Riego
33.	Jaguey Blanco PHJB-41	96 m	68.00 m	72.00 m	10.00	Agropecuario
34.	Chimilpa PHPB-42	160 m	77.80 m	94.07 m	6.40	Agua potable
35.	San Salvador PHSB-43	100 m	Brotante	Brotante	15.00	Riego
36.	San Salvador PHSB-44	60 m	Brotante	Brotante	95.00	Riego
37.	San Salvador PHSB-45	68 m	Brotante	Brotante	85.00	Riego
38.	San Salvador PHSB-46	41 m	Brotante	Brotante	170.00	Riego
39.	Sta. Ma. Batha PHBB-49	120 m	84.47 m	93.35 m	1.50	Riego
40.	Cañada PHCC-54	150 m	88.20 m	95.58 m	7.16	Agua potable
41.	Cerritos No. 56	150 m	77.89 m	78.21 m	8.82	Riego
42.	Col. Veracruz No. 57	200 m	58.28 m	65.00 m	17.00	Agropecuario
43.	Atengo No. 58	60 m	32.96 m	34.77 m	13.92	Agropecuario
44.	Cosahuayane 59	200 m	43.50 m	99.00 m	1.50	Agropecuario
45.	El Retiro No. 60	120 m	60.00 m	89.00 m	25.00	Riego

CAPITULO VI

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

HIDROLOGIA SUPERFICIAL

A. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES PLANO (Fig. -21)

Los ríos principales de la zona en cuestión son el Tula y el Salado.

El río Tula constituye el colector general de la cuenca. Entra a la zona estudiada por su límite sur y sigue hacia el norte, pasando por la población de Tula. Aguas abajo de ésta el río es controlado por la presa Endhó - la obra de almacenamiento más importante de la cuenca, que alimenta el canal del mismo nombre para riego de la margen derecha. Unos 3 km aguas abajo de la presa, el río cambia su curso hacia el oriente, pasando por el poblado de Tezontepec, donde cambia nuevamente su curso hacia el noreste, pasando cerca de las poblaciones de Mixquiahuala y Progreso.

A partir de esta población, el río sigue hacia el Norte saliendo de la zona de estudio.

El río Salado es el único afluente importante de este tramo del río Tula, al cual afluye por su margen derecha, a unos 2 km aguas abajo de la presa, el río cambia su curso hacia el oriente, pasando por el poblado de Tezontepec, donde cambia nue-

vamente su curso hacia el noreste, pasando cerca de las poblaciones de Mixquiahuala y Progreso.

A partir de esta población, el río sigue hacia el norte, saliendo de la zona de estudio.

El río Salado es el único afluente importante de este tramo del río Tula, al cual afluye por su margen derecha, a unos 2 km aguas abajo del poblado de Texontepec. Este río recibe volúmenes importantes de aguas negras procedentes del desagüe de la Ciudad de México, descargado a través de los túneles de Tequiquiac. Parte de sus escurrimientos son derivados para uso agrícola en el distrito de riego de Tula.

Los escurrimientos de ambos ríos son aforados en varias estaciones hidrométricas permanentes, cuyos registros están consignados en los boletines hidrológicos de la S.A.R.H. Se hace mención a las estaciones hidrométricas que se consideraron en el análisis de los escurrimientos del tramo del Río Tula comprendido en el área en cuestión, ellas son las estaciones Binola y Tecolotes instaladas sobre el río Tula, la estación Texontepec sobre el río Salvador, y la estación del Canal Tunel Tecolotes, sobre el Canal del mismo nombre.

La estación Binola está ubicada en el cauce del río --

Tula, a unos 1.4 km aguas abajo de la presa Endhó, y registra -- los volúmenes desfogados por ésta. La estación Tezontepec aflora, la descarga del río Salado al Tula; está instalada sobre aquel, a -- unos 2 km aguas arriba de la confluencia de ambos ríos. La esta- ción, Tecolotes se encuentra sobre el río Tula; inmediatamente -- aguas abajo de la presa derivadora Tecolotes, y mide los volúme- nes desfogados de la misma. La estación Tecolotes registra volú- menes derivados de dicha presa por el canal del mismo nombre. -- los cuales son utilizados para riego en el distrito de Ixmiquilpan.

B. ANALISIS HIDROMETRICO

Los registros hidrométricos de las mencionadas, cubren intervalos de tiempo variables entre 8 y 30 años. Ahora bien, el régimen de escurrimientos de los ríos se ha unido modificando - paulatinamente a causa de la construcción y operación de obras - almacenamiento, derivación y drenaje, y las condiciones geohidro- lógicas se han modificado también al ponerse bajo riego con agua superficial una extensa zona; los retornos de riego y la infiltra- ción en vasos de presas y canales, han incrementado la recarga - del acuífero y generado manantiales caudalosos

Por todo lo anterior, no se ha estimado necesario, pa - ra los fines del presente estudio, analizar todo el intervalo de -

registro de las estaciones, pues no interesa tanto conocer como se han ido modificando las condiciones hidrológicas cuanto saber cual es la condición actual. De aquí, que se haya seleccionado el correspondiente a los de aguas arriba.

Esto significa que el río recibe una cantidad importante de agua entre ambos pares de estaciones. Esta ganancia oscila entre 15 y 35 millones de m^3 en el 90% de los meses considerados, anualmente, varía entre 256 y 446 millones de m^3 .

El hecho de que el río gane agua durante el estiaje, y de que el volumen ganado sea relativamente constante a lo largo del año, sin aumentar notablemente durante los meses de la temporada de lluvias excepción hecha de los meses de agosto y septiembre de 1967, que fueron excepcionalmente lluviosos indica que, en su mayor parte, este volumen no es generado por escurrimiento superficial procedente de la cuenca tributaria del tramo que se analiza, lo que resulta lógico, ya que en este tramo el río Tula no tiene afluentes importantes fuera del río Salado. De aquí se infiere que la aportación que recibe el río procede principalmente del subsuelo, es decir, del acuífero del Valle de Tula-Progreso, y en parte del canal lateral "28 + 607" que descarga al río Tula los excedentes del Canal Endhó, unos 4 km aguas arriba de la población de Xochitlán.

C. RECARGA DEL ACUIFERO

Originalmente, la recarga del acuífero era generada -- por la infiltración del agua de lluvia en los afloramientos de rocas fracturadas; por infiltración de los escurrimientos superficiales -- procedentes de las sierras, en los abanicos aluviales formados en los flancos de las mismas, por la percolación del escurrimiento -- de los ríos a su paso por el valle, y por flujo subterránea procedente del sur.

El agua de lluvia precipitada sobre la superficie del -- valle no constituía una fuente importante de recarga, por la baja capacidad de infiltración de los depósitos lacustres y de las tobas que ahí afloran.

Posteriormente, al desarrollarse la agricultura en la región, los canales, vasos de presas y retornos de riegos, constituyeron nuevas y substanciales fuentes de recarga.

D. MANANTIAL DE "CERRO COLORADO"

Este manantial brotó hace apenas unos 15 años, a unos 4 km al poniente del poblado de Tlahuelilpan y en las estribaciones del Cerro Xicuco; tiene un caudal aproximado de un metro --

cúbico por segundo, el cual es destinado al abastecimiento de agua potable de las poblaciones que integran el sistema múltiple del Valle del Mezquital. Su fuente de recarga no puede precisarse con la información disponible, aunque sí puede afirmarse que su origen está relacionado con las obras de riego del distrito de Tula. El hecho de que brotara poco después del inicio de la operación de la presa Endhó, hizo pensar que fue originado por las filtraciones en el vaso de dicha presa; sin embargo, esto es inadmisibles ya que la elevación topográfica del manantial es unos 25 m mayor que la del nivel máximo de embalse.

Aparentemente, el manantial tampoco guarda relación alguna con el acuífero del valle en las inmediaciones de aquí los niveles freáticos se encuentran a profundidades de unos 20 m. No obstante lo anterior, desconociéndose donde genera su recarga, como fluye el agua desde ahí hasta su afloramiento y qué condición geológica lo origina, resulta aventurado afirmar que el caudal brotante no será afectado por la operación de pozos próximos.

De cualquier manera, dado que el agua de este manantial está destinada a la satisfacción de necesidades de primordial importancia, su preservación constituye una cierta limitación para incrementar la explotación del agua subterránea en sus proximidades.

CAPITULO VII

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

A. APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRANEAS

La información inicial de que se dispuso en el área de estudio provino fundamentalmente del censo que realizó la comisión hidrológica de la Cuenca del Valle de México durante el año de -- 1966.

Con base en los datos proporcionados por dicha comisión, se logró calcular la capacidad instalada de los pozos y norias, lo cual asciende a la cantidad de 1071,1 LPS, para las zonas de - Actopan, Tula-Apaxco-Tlahuelliipan en los que hay mayor concen-- tración de las explotaciones y en los que se obtuvo mayor cantidad de datos referentes al régimen de explotación de los pozos, hacién-- dose una clasificación de estos por diámetros de descargas, y con los datos obtenidos durante el recorrido antes mencionado, se calcularon promedios, de caudales, horas y días de operación en los pozos, de acuerdo con los diámetros de descargas seleccionados - con el fin de aplicarlos a los pozos en los que se desconocía alguna o varias de esas características.

Con estos datos se pudieron calcular los volúmenes anuales extraídos en cada una de las zonas, resultando de $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ para la zona de Actopan y de $11.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ para la zona de Tula

Apaxco, Tlahuelilpan de los cuales $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ se extrae en pozos someros y norias y $10.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ se extrae en pozos profundos.

En forma similar se calculó el volumen de extracción en el área restante de la región resultando de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$. La extracción total en la región es de $24.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

B. PIEZOMETRIA

Con el objeto de conocer algunas de las características del acuífero, se hizo la selección de varios pozos perforados por esta residencia de Geohidrología y de zonas áridas para llevar a cabo mensualmente la lectura de sus niveles estáticos, durante el período de agosto de 1974 a noviembre de 1975, como se presenta en la tabla No. 2 del Capítulo V.

C. CONFIGURACION DEL NIVEL ESTATICO

Con base en las elevaciones del nivel del agua en pozos y norias, se configuró la superficie freática, mediante curvas de igual elevación de nivel freático. Esta configuración permite inferir las direcciones del flujo subterránea, ya que el agua circula en el subsuelo siguiendo trayectorias normales a dichas curvas y en sentido en que decrece la carga hidráulica.

La configuración correspondiente al año de 1975 se --
presenta en el plano (fig. No. 22), puede apreciarse que existe una
alimentación subterránea procedente del sur del Valle de Apaxco. -
Ya en la zona estudiada, el agua subterránea circula hacia el norte
y poniente. La elevación de los niveles freáticos varía entre unos
2100 m.sn.m., en el límite sur de la zona en estudio y 1910 m,
en la porción norte de la misma.

D. CONFIGURACION DE PROFUNDIDADES DEL NIVEL ESTATICO.

Con base a la posición de niveles con respecto a la su-
perficie del terreno se configuró con curvas de igual profundidad a
los niveles estáticos.

La configuración correspondiente al año de 1975 se pre
senta en el plano (fig. No. 23) se puede apreciar que en la zona de
estudio, las profundidades del nivel estático varían en el orden de
10 a 40 m en el límite sur y de 20 a 125 m en la porción norte,
hacia el oriente hay variaciones en el orden de 20 a 55 m de la -
misma.

E. EVOLUCION PIEZOMETRICA.

La información necesaria para conocer la evolución --
piezométrica es la que se obtiene de la observación sistemática

de la posición de los niveles estáticos a freáticas cuya comparación y de acuerdo con la diferencia obtenida en un período determinado de tiempo, constituye el elemento básico para elaborar la configuración correspondiente.

La importancia de las curvas de igual evolución reside en que manifiestan los cambios registrados en el almacenamiento del acuífero, en un período y bajo ciertas condiciones, pues definen áreas de abatimiento o ascenso de los niveles estáticos, es decir, áreas donde ha disminuido o aumentado el volumen de agua subterráneo almacenado.

Con el fin de conocer la evolución de los niveles piezométricos en la región, se configuraron las curvas de igual evolución de nivel estático para el período comprendido de noviembre de 1971 a octubre de 1974 se presentan en el plano Fig. No. 24. En este se observa que en la zona de Actopan continua la recuperación, teniendo un valor máximo y mínimo de 6.0 m y 1.5 m en los alrededores de la población de Actopan y en la zona de Tula se observa otra recuperación, teniendo un valor máximo y mínimo de 3.5 m y 2.0 m entre las poblaciones de Mixquiahuala y Tlahuelilpa de Ocampo.

F. PROPIEDADES FISICAS DE LOS ACUIFEROS.

Para el conocimiento de las características físicas de los acuíferos en la región, se efectuaron pruebas de bombeo de corta duración unos pudieron ser interpretados.

Las pruebas se interpretaron aplicando los métodos de Jacob y Hantush a las etapas de abatimiento y recuperación obteniendo un valor del coeficiente de transmisibilidad para cada etapa.

La mayoría de las pruebas de bombeo se llevaron a cabo en pozos que explotan el acuífero constituido por los rellenos que se encuentran en los primeros 50 metros sobreyaciendo rocas más antiguas, por lo que los valores de transmisibilidad obtenidos a partir de las pruebas de bombeo de corta duración son representativos del mencionado acuífero. En la tabla No. 3 se resumen los resultados.

G. FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO.

Generalidades.

Para conocer el funcionamiento del acuífero superficial y atendiendo la información piezométrica de que se dispuso -

TABLA No. 3

RESUMEN DE RESULTADOS DE PRUEBA DE BOMBEO DE
CORTA DURACION EN EL VALLE DEL MEZQUITAL.

POZO No.	CAUDAL L.P.S	ABAT. MAX. M	CAUDAL ESPECIF. LPS/M	TRANSMIBILIDAD $M^2/Seg \times 10^{-3}$		PROM.
				ABAT.	RECUP.	
Actopan 3	40.00	49.09	0.81	0.01	6.65	6.33
Actopan 4	126.00	19.40	0.81	10.25	14.80	12.53
Tepatepec 5	57.00	31.70	6.50	6.50	4.30	5.40
Tepatepec 6	65.80	30.27	1.80	5.73	4.30	5.01
Fenix 7	106.00	7.75	2.17	50.00	- -	50.00
Juandhó 12	66.50	7.39	13.70	35.70	- -	35.70
Teocalco 15	65.00	10.80	9.00	9.90	14.70	12.30
Mangas 11	95.30	15.99	6.00	35.00	65.00	50.00
K 318	1.00	0.75	1.30	0.56	0.52	0.54
K 668	26.00	12.85	2.02	1.70	2.04	1.87
K 739	33.50	5.08	6.60	4.14	6.66	5.40
K 745	32.10	9.79	3.30	3.92	4.45	4.18
K 807	14.00	1.59	8.80	- -	7.32	7.32
K 814	22.60	12.80	1.77	1.76	- -	1.76
Q 399	9.00	39.82	0.23	0.14	0.165	0.153
Q 438	26.00	21.95	1.20	0.314	- -	0.314
Q 816	9.00	0.67	13.40	- -	47.00	47.00
Q 956	5.00	1.13	4.40	1.50	2.00	1.75
Extra 11	1.00	0.72	1.40	0.66	0.60	0.63

la región se subdividió en dos zonas: la de Actopan y la de Tula. En cada una de ellas se estableció la ecuación de equilibrio dinámico del acuífero como a continuación se presenta: $V_e + R = V_b + V_s + S_s$, significando:

V_e = Volúmenes de entrada por flujo horizontal.

R = Recarga vertical.

V_b = Volumen de extracción por bombeo.

ΔV = Cambios en el almacenamiento.

V_s = Volumen de salida por flujo horizontal.

S_s = Volumen de salidas superficiales por drenes y/o manantiales.

El volumen V_e se calcula en la forma siguiente:

$V_e = BI Te.t$; en donde B es el ancho medio; Te = transmisibilidad; I = es gradiente medio del flujo en la sección de entrada respectiva, t es el intervalo de tiempo que se considera para establecer el balance.

Los valores de B e I se obtienen de las redes de flujo, en forma semejante se calcula el volumen de V_s .

La recarga vertical R , puede considerarse integrado por dos volúmenes; uno proporcional al volumen de agua aplicado para riego y otro proporcional al volumen llovida sobre el área.

es decir:

$$R = C_1 VR + C_2 V_{11}$$

donde:

VR = volumen de agua utilizado en riego.

V_{11} = volumen precipitado.

C_1 y C_2 = porcentajes de los volúmenes correspondientes, o bien puede considerarse que la recarga es directamente proporcional al volumen total de agua aplicada superficialmente es decir:

$$R = C(V_{11} + VR).$$

El cambio de almacenamiento, se calcula mediante la expresión:

$$\Delta V = A \cdot \Delta \bar{h} \cdot S$$

donde:

A = área de la zona de balance.

$\Delta \bar{h}$ = la evolución del nivel estático medio en la misma zona.

S = coeficiente de almacenamiento regional del acuífero.

Al producto $A \cdot \Delta \bar{h}$ se le llama volumen de evolución del nivel estático y se le representa por ΔV^1 . Este valor se calcula a partir de un plano de curvas de igual evolución del nivel estático, o bien como el producto del área por la diferencia de niveles medios correspondientes al inicio y final del mismo período.

Vb .- Es el volumen de extracción por bombeo el cual si no se cuenta con medidores totalizadores de flujo instalados en la descarga de pozos puede estimarse con base en datos de aforo y operación de los pozos o bien con base en la superficie regada y la lámina anual utilizada para los pozos de uso agrícola.

Sa .- Es el volumen de agua que el acuífero descarga a la superficie del terreno por medio de manantiales o drenes.

H. APLICACION EN LA ZONA DE ACTOPAN

Para el estudio del acuífero en la zona de Actopan, se formó un modelo lineal integrado por cuatro ecuaciones simultáneas de equilibrio dinámico, en las incógnitas R y S, corresponden a los períodos: diciembre 1974 - enero 1975, enero-febrero 1975, febrero-marzo 1975 y marzo-abril 1975.

Los volúmenes de entradas y salidas por flujo horizontal V_e y V_s respectivamente se calcularon con base en las curvas de igual transmisibilidad y las redes de flujo correspondientes a los períodos considerados.

Los gradientes y anchos de canales de flujo que calcularon promediando los valores obtenidos de la configuración del

nivel estático correspondiente al inicio y final de cada uno de los períodos considerados. Los valores calculados se presentan en la tabla siguiente:

PERIODO	VOLUMEN V_e $10^6 M^3$	VOLUMEN V_a $10^6 M^3$
D-E	3.660	1.556
E-F	4.015	1.649
F-M	3.153	1.103
M-A	2.942	1.274

La recarga vertical se consideró directamente proporcional a la suma de los volúmenes de lluvia y riego, es decir, --
 $R = C(V_{11} + VR)$. Donde C es una fracción de la suma de dichos volúmenes que constituye la recarga de los acuíferos. Los volúmenes llovidos en cada uno de los períodos considerados, se calcularon con base en las curvas de igual precipitación y el área de la zona.

Los volúmenes utilizados en riego se obtuvieron de los informes mensuales de distribución del agua en el Distrito de riego No. 03. Los volúmenes totales que se consideraron se presentan en la tabla siguiente:

PERIODO	$V_{11} (10^6 M^3)$	$VR (10^6 M^3)$	$(V_{11} - VR) (10^6 M^3)$
D-E	0	10.476	10.476
E-F	1.536	9.628	11.164
M-A	0	13.425	13.425

El cálculo de los volúmenes de evolución del nivel estático se realizó con base en el plano de curvas de igual evolución de nivel estático de los períodos considerados. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente:

PERIODO	AV ($10^6 M^3$)0
D-E	2.910
E-F	10.915
F-M	69.260
M-A	53.115

Los volúmenes de extracción por bombeo se calcularon a partir de los datos de operación de los pozos, los que se obtuvieron durante los recorridos que con ese objeto se efectuaron.

Los valores que se utilizaron se presentan en la siguiente tabla:

PERIODO	VOLUMEN Vb EXTRAIDO $10^6 M^3$
D-E	0.268
E-F	0.380
F-M	0.468
M-A	0.487

Los volúmenes por salidas superficiales en esta zona, tienen lugar por el dren "lagunillas", el cual se localiza al poniente de la población de Actopan. Los volúmenes correspondientes a cada uno de los períodos considerados se presentan en la -

tabla siguiente:

PERIODO	Ss. VOLUMEN 10 ⁶ M ³ "Dren. Lagunillas"
D-E	2.6
E-F	3.1
F-M	3.2
M-A	1.6

Por los resultados anteriores se obtuvo una ecuación para cada período en las incógnitas: S coeficiente de almacenamiento regional y C, por ciento del volumen de agua aplicado superficialmente que recarga el acuífero. El sistema de ecuaciones resultante es el siguiente:

PERIODO	$C(VII + VR) + \Delta V)S = V_s - V_e + S_s + V_b$
D-E	10.476 C + 2.910S = 1.264
E-F	13.025 C + 10.915S = 1.515
F-M	11.164 C + 69.261S = 1.418
M-A	13.415 C + 53.115S = 1.691

El sistema de ecuaciones fue resuelto por el método de mínimos cuadrados, obteniendo los valores siguientes:

$$C = 11.75 \%$$

$$S = 0.00172$$

El error de ajuste por ecuación expresado como porcentaje del término independiente, oscila entre + 2.2 % y - 2.3 % y la desviación estándar del sistema es de 0.0296/10⁶M³.

Los errores de ajuste para cada período se presentan en la tabla siguiente:

PERIODO	ERROR %
D-E	- 2.3
E-F	+ 2.2
F-M	+ 0.8
M-A	- 1.4

I. APLICACION EN LA ZONA DE TULA

Para el estudio del acuífero en esta zona se formó un modelo lineal integrado por cuatro ecuaciones simultáneas de equilibrio dinámico en las incógnitas C y S correspondientes a los períodos: noviembre - diciembre 1974, diciembre 1965 - enero 1975, enero-febrero 1975 y febrero-marzo 1975.

Los volúmenes de entrada y salida por flujo horizontal se calcularon en forma similar a la que se hizo en la zona de -- Actopan.

Los valores calculados se presentan en la siguiente - tabla:

PERIODO	$V_e(10^6 M^3)$	$V_s(10^6 M^3)$
N-D	0.184	0.206
D-E	0.221	0.181
E-F	0.229	0.214
F-M	0.217	0.197

La recarga vertical, igual que en la zona de Actopan, se consideró directamente proporcional a la suma de los volúmenes de lluvia y riego. Los volúmenes que se utilizaron se presentan en la siguiente tabla.

PERIODO	V11(10 ⁶ M ³)	VR(10 ⁶ M ³)	(V11 + VR) (10 ⁶ M ³)
N-E	0	11.078	11.078
D-E	0	12.339	12.339
E-F	0	14.381	14.381
F-M	3.841	12.089	15.930

El cálculo de los volúmenes de evolución de la superficie piezométrica se hizo a partir de el plano de curvas de igual evolución de los periodos considerados. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente:

PERIODO	ΔV^1 (10 ⁶ M ³)
N-D	- 35.50
D-E	- 41.44
E-F	- 27.79
F-M	- 64.18

Datos de operación de los pozos. Los valores que se obtuvieron se presentan en la siguiente tabla:

PERIODO	Vb Volumen extraído 10 ⁶ M ³
N-D	0.074
D-E	0.080
E-F	0.094
F-M	0.198

Las salidas superficiales que tienen lugar en esta zona, están constituidas por los volúmenes descargados por el manantial Cerro Colorado, localizado a 4.5 km al poniente de la población de Tlahuelilpan, cerca del cerro del Xicuso el cual aflora con un medio de 600 lps, es decir descarga $19 \times 10^6 M^3/año$.

Por todo lo anterior se obtuvo una ecuación por cada período en las incógnitas:

S Coeficiente de almacenamiento regional y C, por ciento del volumen de agua aplicada superficialmente que recarga el acuífero.

El sistema de ecuaciones resultante es el siguiente:

PERIODO	(VII+VR)	C + $\Delta v^1 s$	= - Vs + Ve+Vb +Sa
N-D	11.078	C + 35.500 S	= 1.696
D-E	12.339	C + 41.400 S	= 1.639
E-F	14.381	C + 27.790 S	= 1.609
F-M	15.930	C + 64.185 S	= 1.777

El sistema de ecuaciones se resolvió por el método de los mínimos cuadrados, obteniendo los valores siguientes:

$$C = 11.7 \%$$

$$S = 0.0020$$

El error de ajuste por ecuación expresado como porcentaje del término independiente oscila entre 12.1% y -19.4%, con

0.257 x $10^6 M^3$ de descuación estandard del sistema.

Los errores de ajuste para cada periodo son los siguientes:

tes:

PERIODO	ERROR %
N-D	- 19.4
D-E	- 6.9
E-F	+ 10.9
F-M	+ 12.1

J. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REGION

Debido a que los datos obtenidos de piezometría extracciones de aguas subterráneas y coeficiente de transmisibilidad no cubren toda el área de la región, se analizaron únicamente las zonas de Actopan y Tula, mencionadas anteriormente, por ser en las que se dispuso de mayor cantidad de datos.

El análisis efectuado en estas zonas permitió calcular el valor del coeficiente de almacenamiento regional y el porcentaje de infiltración de los volúmenes superficiales aplicados que constituyen la recarga al acuífero en cada zona.

Para obtener la recarga vertical en la región se delimitó al área plana de ésta, resultando ser de 1.425 m^2 , y se estableció en ella la ecuación siguiente:

$$V_e + R = V_s \pm V_b \pm \Delta V^1 S + S_s$$

El volumen de entrada subterránea V_e , para este pozo se calculó con base en las curvas de igual transmisibilidad y en las redes de flujo de noviembre y diciembre de 1974, enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre de 1975, haciéndose la consideración de que ésta última era representativa del mes de octubre de 1975.

El volumen de entradas resultó ser:

$$46 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año.}$$

El volumen de salidas por flujo subterráneo de la región está constituido por el volumen que fluye de la zona de Actopan hacia Ixmiquilpan, el cual se calculó en forma semejante al de entrada a la zona, este volumen es de $19.6 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año}$ y por el volumen que el acuífero descarga al río Tula, el cual es de $144 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año}$. Este último está calculado con base en el volumen mensual obtenido del balance que se efectuó a partir de los aforos de las estaciones hidrométricas permanentes y eventuales situadas sobre el río Tula en el tramo comprendido entre las estaciones Binola y Mixquiahuala.

El volumen total de salidas subterráneas son de 163.6

$\times 10^6 M^3$.

La recarga vertical se consideró directamente proporcional al volumen total de agua aplicado superficialmente calculado como la suma de los volúmenes de riego y lluvia es decir:

$$R = C (VII + VR)$$

Donde C es una fracción del volumen total, que constituye recarga al acuífero, VII es el volumen precipitado en el período considerado y VR el volumen el volumen aplicado por riego en el mismo período.

El volumen precipitado se calculó a partir de la precipitación media anual en la región, la cual es de 590 mm, y obteniéndose la cifra de $841 \times 10^6 M^3$ / año.

El volumen de riego, se calculó como la suma de los promedios de los volúmenes de aguas blancas y negras derivadas para riego durante los años de 1972, 1973 y 1974. Los volúmenes correspondientes a los años mencionados se presentan en la tabla siguiente:

AÑO	VOLUMEN DERIVADO DE AGUAS BLANCAS	VOLUMEN DE AGUAS NEGRAS
1972	130.2	765.1
1973	205.2	732.9
1974	119.5	745.1

El volumen promedio en los años considerados de -- "aguas blancas" es de $151.8 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año}$ y el volumen promedio de aguas negras de los mismos años es de $742.7 \times 10^6 \text{M}^3$, es decir, el volumen promedio total de aguas blancas y negras utilizado en riego es de $899 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año}$.

Los volúmenes de salidas superficiales que se consideraron son los que ocurren por el dren lagunillas, localizado en las cercanías de la población de Actopan y que descarga sus aguas en la presa devoché, localizada en el plano en la figura No. 21.

Con el promedio de los datos disponibles, se calculó el volumen anual drenado, el cual es de $30 \times 10^6 \text{M}^3$.

La otra salida superficial, es la del manantial Cerro Colorado, localizado a unos 5 km al sureste de la población de Tezontepec, el cual aflora con un caudal medio de 600 lps., equivalentes a una descarga de $19.0 \times 10^6 \text{M}^3$.

El volumen de extracción por bombeo, se calculó con base en los datos que se presentan en la tabla No. 4, 5 y 6 resultando ser de $13.8 \times 10^6 \text{M}^3/\text{año}$. Se obtuvo una ecuación en la incógnita C, por ciento del volumen aplicado superficialmente que constituye la recarga del acuífero, y es la que se presenta a continuación:

TABLA No. 4
VOLUMEN DE EXTRACCION ZONA ACTOPAN

DIAMETRO DE ESCARGA		No. Pozos	Caudal L. P.S.	Operación		Volumen anual en m ³ .
n.	pulgadas			horas	días	
.62	3	15	1.0	2	365	7420
.70	5	1	15.0	8	365	157680
.70	5	1	14.0	16	365	294336
		1	4.0	3	365	15768
		1	23.1	7	92	53555
		1	26.0	8	90	67392
		1	10.0	10	365	131400
		1	15.0	12	90	58320
		1	32.0	12	90	124416
		1	36.0	12	90	139968
		3	20.0	6.9	365	543996
		1	25.0	8	182	131040
		1	30.0	6	365	236520
		1	30.0	-	60	72394
		1	36.0	-	75	72394
		1	25.0	-	30	24131
		1	16.0	0.5	91	2621
		1	36.0	4.0	365	189216
		1	15.0	10.0	140	75600
T o t a l:						2398167

TABLA No. 5

VOLUMEN DE EXTRACCION ZONA TULA
NORIAS Y POZOS SOMEROS

DIAMETRO DE DESCARGA		No. Pozos	Caudal L. P. S.	Operación		Volumen anual en m ³
Cms.	Pulgadas			Horas	Días	
15.24	6	1	34.5	6.0	90	6 7068
7.62	3	1	3.6	1.0	365	4730
7.62	3	47	2.5	2.0	365	31 5360
2.54	1	1	3.6	0.5	365	2190
		1	12.0	4.0	154	2 6611
		1	2.5	1.0	365	3285
		1	0.1	6.0	365	788
		1	5.0	7.0	365	4 5990
		1	3.2	2.0	365	8278
		1	16.0	0.5	365	1 0512
		1	16.0	6.0	365	12 6744
		1	1.0	6.0	365	7884
		1	5.0	24.0	365	15 7680
		1	2.0	24.0	365	6 3072
		1	14.0	4.0	365	7 3584
		1	3.0	11.0	365	4 3362
		1	2.5	0.5	365	1642
		1	9.0	6.0	365	7 0952

TABLA No. 5

VOLUMEN DE EXTRACCION ZONA TULA
NORIAS Y POZOS SOMEROS

DIAMETRO DE DESCARGA		No. Pozos	Caudal L, P, S,	Operación		Volumen anual en m ³
Cms.	Pulgadas			Horas	Días	
		1	9.0	10.0	365	9 1980
		1	36.5	20.0	365	9 4608
		1	5.5	1.0	365	7227
		1	2.0	2.0	365	5256
		1	6.0	6.0	365	4 7304
		1	2.5	4.0	52	1870
		1	16.0	6.0	100	5760
		1	20.0	4.0	365	10 5120
		1	1.0	2.0	365	2628
		1	2.8	2.0	365	7358
		1	4.0	0.5	365	2365
		1	0.4	8.0	365	4204
T o t a l:						141 5928

Tabla No. 6
VOLUMEN DE EXTRACCION ZONA TULA
POZOS PROFUNDOS

<u>DIAMETRO DE DESCARGA</u>		No. Pozos	Caudal L. P. S.	<u>Operación</u>		Volumen anual en m ³
Cms.	Fulgadas			Horas	Días	
8.10	15	1	36.0	12.0	365	56 7648
5.40	10	1	40.0	15.0	365	78 8400
5.40	10	1	13.0	18.0	365	30 7476
2.86	9	1	16.0	13.0	365	27 3312
		1	36.0	22.0	365	104 0688
		1	64.0	24.0	365	201 8304
		1	16.7	24.0	365	152 6651
		1	36.0	11.0	365	52 0344
		1	27.0	24.0	365	85 1472
		1	30.0	24.0	365	94 6080
		1	36.0	16.0	365	75 6864
		1	30.0	18.0	365	70 9560
		1	16.0	10.0	365	21 0240
T o t a l:						1051 7839

$$V_e + C (VR + VII) = V_b + S_s; \Delta V^1 S = 0$$

$$46 + (899 + 841) = 163.6 + 13.8 + 49$$

$$1740 C = 180$$

$$C = \frac{180}{1740}$$

$$C = 0.11$$

El valor de C, que se obtuvo en el análisis anterior es igual al que resultó en las zonas de Actopan y Tula. Por lo tanto, la recarga por lluvia y riego es de $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Siempre el propósito de toda investigación es determinar cuales son los resultados a los que puede conducir todos los datos obtenidos. La ciencia geohidrológica no se sustrae a su interés principal de alcanzar nuevos resultados, ya sean positivos o negativos para los fines que se persiguen.

De acuerdo con los resultados de este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El valle del Mezquital ha pasado por tres etapas sucesivas de formación de materiales rocosos. Primero, una sedimentaria, esencialmente marina como se puede apreciar en los afloramientos de calizas. A continuación un período ígneo con predominancia de rocas volcánicas ácidas a básicas por último, una etapa sedimentaria pero ahora continental clástica.
2. Entre las etapas sedimentarias e ígnea se aprecia un período de fuerte erosión que dejó como testimonio una discordancia de rocas sedimentarias en ciertas zonas donde las rocas se encuentran con anterioridad; en la etapa ígnea, se puede apreciar una separación clara entre las rocas basálticas y las andesíticas. Los basaltos de edad más reciente, se localizan al sur y suroeste del valle mientras que las andesitas con edades --

mas antiguas se encuentran al Noreste y Este del valle. Esta separación indica dos períodos volcánicos distintos en su origen.

3. Las investigaciones realizadas demuestran que existen dos acuíferos en los valles de la región, constituidas por alternancias de materiales de relleno de aluvión y lacustre con derrames de basalto. Uno de ellos, el somero de profundidad variable entre 50 m y 80 m y otro inferior a éste con profundidad media de 300 m.
4. Existe un tercer acuífero formado por calizas del Cretácico Inferior comprobado por la presencia de manantiales en la zona de Ixmiquilpan y por las exploraciones efectuadas en tres perforaciones que atravesaron esas formaciones.
5. El acuífero superficial presenta características de confinamiento parcial con una transmisibilidad media de $4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ y un coeficiente de almacenamiento regional de 2×10^{-3} .
6. El sentido general del flujo del agua subterránea en la región es de sur a norte con aportaciones al poniente. Puede apreciarse que existe una alimentación subterránea procedente del sur del valle de Apaxco.
7. La evolución de los niveles medios estáticos demuestra que no

existe sobre-explotación de los acuíferos de la región, ya que se registran recuperaciones totales después de abatimientos - medios del orden de 6.0 m en la zona de Actopan y de 3.5 m en la zona de Tula para el período comprendido de noviembre de 1971 a octubre de 1974.

8. Las salidas anuales del acuífero estudiado corresponden a: $144 \times 10^6 \text{ m}^3$ que recibe el Río Tula al drenar los acuíferos superficiales $19 \times 10^6 \text{ m}^3$ como flujo subterráneo de Actopan hacia - Ixmiquilpan $49 \times 10^6 \text{ m}^3$ por drenes y manantiales y una extracción por bombeo de $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ correspondiente a una capacidad instalada de $1.07 \text{ m}^3/\text{seg}$.

9. Las fuentes recargas adicionales que corresponden a las aguas negras provenientes del Distrito Federal y que son utilizadas en el Valle del Mezquital para irrigación, ha causado una saturación y un incremento en los niveles piezométricos que se ha manifestado en inundaciones donde los terrenos mas bajos topográficamente y que corresponde a dos franjas consideradas como cauces antiguos de ríos que se encuentran cubiertas en la actualidad por sedimentos finos impermeables. Las inundaciones presentan una orientación de sur a norte y oeste a noreste, la primera empieza del poblado denominado El Borcha hasta -- San Salvador y la segunda de Tepatepec a San Salvador lo que

da una superficie inundada de 1000 hectáreas.

10. De los análisis químicos de las muestras de agua colectados en los aprovechamientos y manantiales en la zona de riego de la región, se comprobó que los acuíferos y descargas subterráneas al Río Tula presentan características químicas similares a los correspondientes al agua utilizada para riego. Fuera de esta zona, los análisis de las muestras de agua subterránea presentan características químicas diferentes.
11. Por los resultados obtenidos de las exploraciones que alcanzaron el acuífero profundo, se ve que es factible obtener de éstos volúmenes adicionales de aguas subterráneas que permiten liberar volúmenes de agua superficial que se usan actualmente en la región para aprovecharse en otras zonas
12. Las exploraciones geoelectricas efectuadas permitieron definir la profundidad de un horizonte de alta resistividad correspondiente a una probable roca compacta cuya profundidad varía entre 95 y 600 m que puede representar el posible basamento impermeable de los acuíferos de la región.

RECOMENDACIONES

1. Para aprovechar los recursos locales de agua subterránea, se recomienda un pozo exploratorio a 300 m de profundidad en el área de chicovasco, este pozo sería con fines de riego.
2. El presupuesto aproximado de este pozo es de \$ 800 000.00
3. La parte sur del valle es una zona productora geohidrológica--mente y tomando en cuenta que colinda con el Valle de México que tiene una elevación mayor, hay la posibilidad de que estas aguas de la zona provengan del Valle de México, por lo que se recomienda dos pozos exploratorios a 300 m de profundidad en la región de San Juan Solís, para comprobar las posibilidades de que el agua provenga del Valle de México.
- 4.- Se recomienda que se analice el funcionamiento hidráulico del macizo de rocas calizas que se encuentra entre Actopan, Mixquiahuala e Ixmiquilpan por medio de información piezométrica y geoquímica.
5. Con el propósito de definir con mayor precisión la procedencia de los recursos de agua subterránea, se recomienda que se --lleve a cabo un muestreo de agua superficial y subterránea que

cubra toda el área de estudio y su colindancia con la Cuenca del Valle de México en un mismo período, tanto en los aprovechamientos someros como en las nuevas exploraciones profundas que se programen.

6. Es necesario llevar un control mensual de la operación de los aprovechamientos de agua subterránea en pozos y norias por medio de medidores acumulativos de volúmenes de extracción u otro método con el que se obtengan los mismos resultados.
7. Se recomienda que se aforen en forma sistemática todos los manantiales, drenes y canales que existen en la región con el propósito de conocer con mayor exactitud su funcionamiento.
8. Llevando a cabo sistemáticamente los incisos anteriores 5 y 6, durante un período de 5 años, se recomienda un modelo matemático, porque es necesario el conocimiento del comportamiento del mismo en lo referente a la variación del nivel, volumen y calidad de agua para determinados regímenes de extracción y recarga.
9. Debido a las recargas que está recibiendo el Valle por concepto del Distrito de Riego 03 y que está ocasionando inundaciones -- de tierras laborales, se recomienda hacer una serie de perforaciones en la zona afectada a una profundidad de 50 m, a lo

largo de los drenes existentes ya que el agua fluiría por gravedad y se desalojaría por dichos drenes y el agua se utilizaría para irrigación.

10. Se recomienda que las actuales tierras que se riegan con aguas negras se les proporcione agua blanca para evitar su contaminación. Esta agua blanca se obtendría con la perforación de pozos en la zona de riego actual, así se resolvería el problema de posibles saturaciones y contaminación de desechos industriales. La proposición de mezclar aguas negras con lo que se obtenga de los pozos resultaría un volumen sobrante de agua negra, la que se aprovecharía en la parte Este de Actopan, conocida como "parte alta de Actopan", esto se puede lograr por medios de canales considerando que la zona por donde entran las aguas negras al Valle de Actopan, se encuentra topográficamente mas alta con relación a la zona propuesta.

BIBLIOGRAFIA

1. AGROGEOLOGIA Levantamiento geológico en los Estados de Puebla y Tlaxcala 1976.
2. BILLINGS MARLAND P. Geología Estructural. 1972
3. CASTANY G. Tragado práctico de las Aguas Subterráneas. 1971
4. COMPTON ROBERT Geología de Campo . 1970
5. CHAVEZ GUILLEN RUBEN Conceptos Básicos Relativos al Estudio del Agua Subterránea. 1978.
6. DAPPIES EDWARD C. Geología Básica en Ciencia e Ingeniería. 1963.
7. DAVIS SN R. DE WIEST. Hidrogeología. 1971
8. DERRUAU MAX Geomorfología. 1966
9. FRIES JR. CARLOS Resumen de la Geología de la Hoja Pachuca, Estado de Hidalgo. 1963
10. GEYNG. AR, FRIES C. SEGERSTROM K. B LACKU Y WILSON Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca Real del Monte, - Estado de Hidalgo. 1963
11. GIBSON ULRIC P. Y REXFORD D. SINGER Manual de los Pozos Pequeños. 1976
12. HIDROTEC S.A Estudio Geohidrológico preliminar del Valle del Mezquital. 1970
13. HUANG WALTER T. Petrología. 1968
14. INSTITUTO DE GEOLOGIA, UNAM. Reseña Geológica del Estado de Hidalgo. 1960
15. LESSER I. JUAN MANUEL Calidad del agua y significado de algunas de sus propiedades físicas y químicas. Boletín de divulgación técnica No. 8. S. A. R. H. 1976

16. LONGWELL CHESTER R Y RICHARD F. FLINT Geología Física. 1965
17. MARTELL ANDRADE BERNARDO Apuntes de las clases Geología del Sub-suelo y Registros Geofísicos de Explotación. Facultad de Ingeniería, UNAM. 1975.
18. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Perforación de Pozos Profundos. 1975.
19. SEGERSTROM KENNET Geología del sureste del Estado de Hidalgo y del noreste del Estado de México. 1961
20. SCHLUMBERGER Fundamentos de la Interpretación de - Perfiles. 1970
21. VARGAS PAREDES LINO Estudio Geohidrológico. Preliminar de Valle de Actopan, Estado de Hidalgo. Tesis Profesional, ESIA, IPN. México 1978.



EXPLICACION

ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCANICAS

- Qol - Arenas y material aluvial
- Qm - Cones coniferos, interglaciados por morras (Cm)
- Qb - Depositos de lama con sus brechas y cascadas asociadas.
- Qc - Terrazas del tipo de las de Tepic.
- Qd - Deplaye - Derrames de lama

PLEISTOCENO Y RECIENTE

Forma Tpi Tpb Tpm

PLIOCENO

- Tpi - FORMACION Toluca Material clasico predominantemente Lomas de tepic reciente
- Tpb - Depositos de lama con sus brechas y cascadas asociadas
- Tpm - ASISTIA ALTAZO Deposito de lama con conglomerado
- Tpn - POR ATOPINICO EL ORE. Material clasico predominantemente

Tpdy Tpd

EPICENO OLEOCENO

- Tpdy - FORM DON BUENO Estratos depositados
- Tpd - FORM TAPATE. Depositos de lava interglaciados

Temp Tm

CRETACICO SUPERIOR

- Temp - TIEMPO PLACIDA Areas interglaciadas de conchas variables
- Tm - Areas interglaciadas de diferentes

Tm

CRETACICO INFERIOR

- Tm - FORM EL HORNO. Predominantemente conglomerado de lava

Em

CRETACICO INFERIOR

- Em - FORM MEXICALCA. Capas interglaciadas de lava

Em Em

- Em - FORM CANTILA. Capas de lava gruesa de flujos de lavas cortas
- Em - FORM DONJUAN. Calf de un cono mediano y antiguo

Em

- Em - FORM EL ORE. Capas interglaciadas de lavas de conchas y antiguas

ESCALA 1:200 000 APROXIMADA

SIMBOLOGIA

- CONTACTO CON LINEA SOTERRADA
- FRONTE DE CUNA CON INCLINACION MEDIO DE 45° NOROCCIDENTAL - EL GIRO DEL CUNA
- FRONTE DE CAPAS VERTICALES
- FALLA NOROCCIDENTAL DEL LAGO MEXICALCA
- FALLA NOROCCIDENTAL
- AVELLANA NOROCCIDENTAL DEL TOLUCA DEL PLANO ANUAL Y LA DIRECCION DE UNO DE CLAVO, LINEA NOROCCIDENTAL DE BARRIO DE CLAVO
- AVELLANA NOROCCIDENTAL DEL TOLUCA DEL PLANO ANUAL LA DIRECCION DE UNO DE LOS PLACERES
- AVELLANA NOROCCIDENTAL DEL PLANO ANUAL, LINEA NOROCCIDENTAL DE UNO DE CLAVO
- AVELLANA NOROCCIDENTAL DEL PLANO ANUAL Y DIRECCION
- LIMITES ANUALES DE PIEDRA DE BARRIO NOROCCIDENTAL DE LA PIEDRA EL ORE

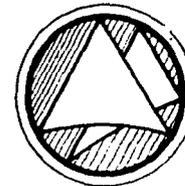
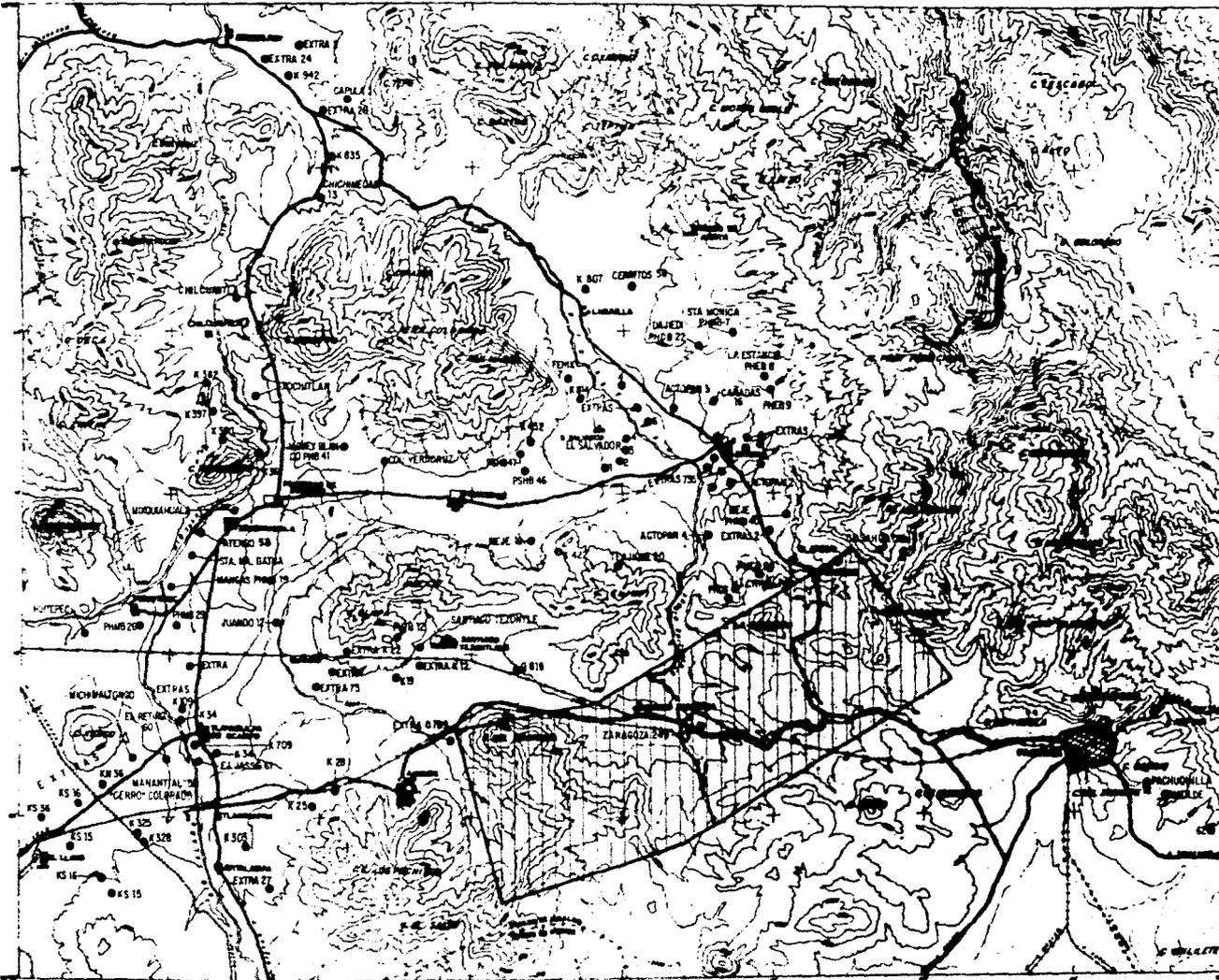
FIG. Nº 4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO GEOLOGICO

TESIS PROFESIONAL

JOSE ANTONIO VILLALBA Z. 1950, 20, 1950



DECLINACION

S I M B O L O G I A

- POBLACIONES
- CARRETERAS
- LIMITE DE ESTADO
- FERROCARRIL
- RIOS
- ARROYOS
- DLEODUCTO
- CURVA DE NIVEL
- POZOS DE EXPLTACION
- MANANTIAL
- ZONA PROPIETA DE POZOS EXPLORATORIO

ESCALA 1: 200 000 APROX.



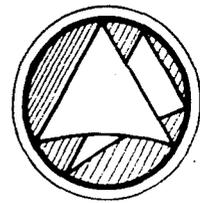
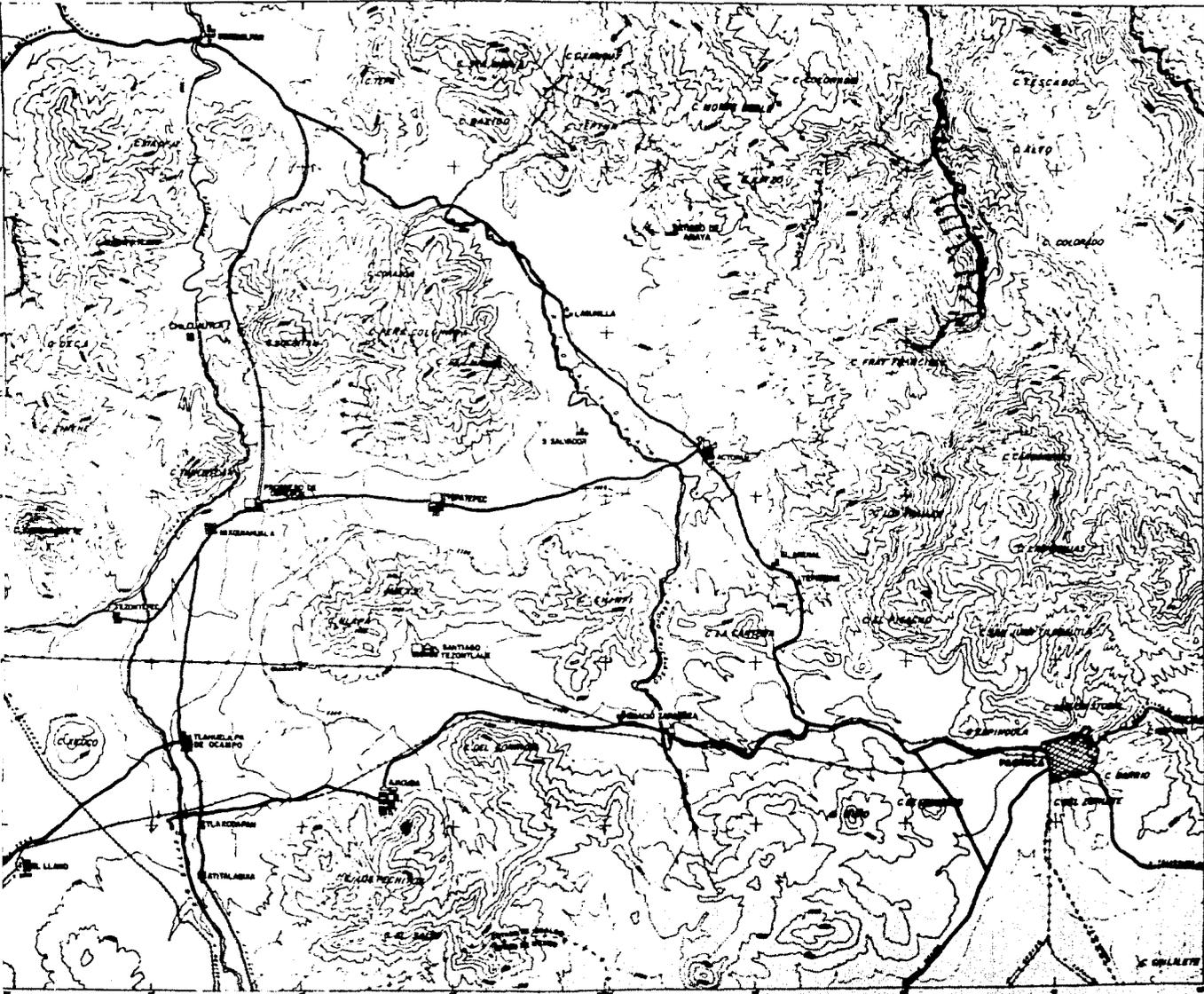
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

ZONA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HGO.,
PLANO TOPOGRAFICO Y LOCALIZACION DE POZOS

TESIS PROFESIONAL

JOSE ANDRES VAZQUEZ Z. MEXICO, D.F., ANEXO No.

FIG. N° 13



DECLINACION

S I M B O L O G I A

- POBLACIONES
- CARRETERAS
- LIMITE DE ESTADO
- FERROCARRIL
- R I O S
- ARROYOS
- OLEODUCTO
- CURVA DE NIVEL

ESCALA 1: 200 000



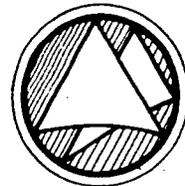
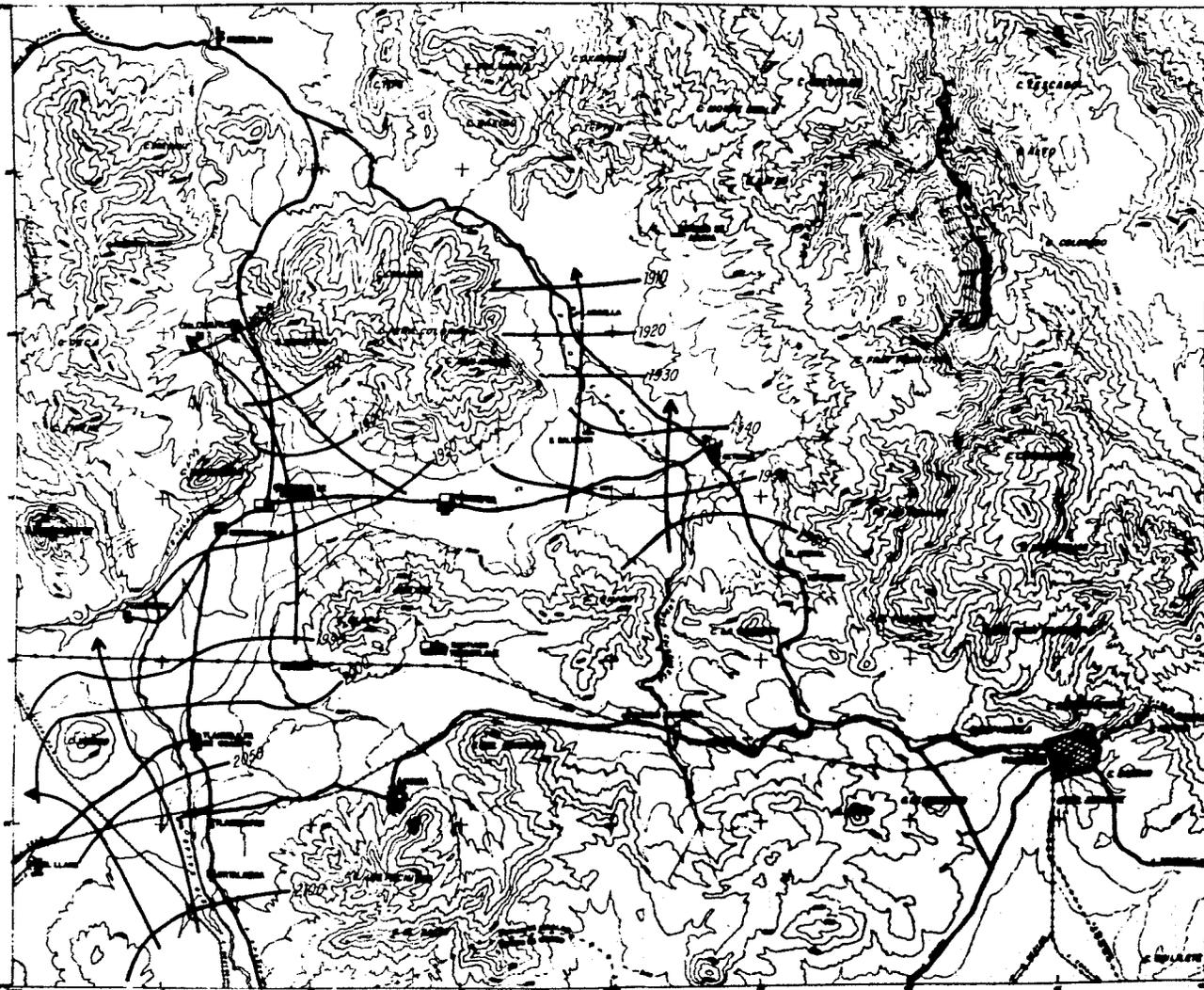
U N I V E R S I D A D N A C I O N A L A U T O N O M A
FACULTAD DE INGENIERIA

ZONA VALLE DEL MEZQUITAL MEX.
PLANO DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL

T E S I S P R O F E S I O N A L

JOSE ANDRES VAZQUEZ Z. MEXICO, D.F., AÑO 1964

FIG. N° 21



DECLINACION

S I M B O L O G I A

- POBLACIONES 1000 2500 5000
- CARRETERAS
- LIMITE DE ESTADO
- FERROCARRIL
- R I O S
- ARROYOS
- OLEODUCTO
- CURVA DE NIVEL
- CURVA DE IGUAL ELEVACION DEL N.E. EN M.S.N.M. 1950

ESCALA 1: 200 000 APROX.



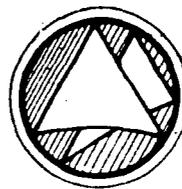
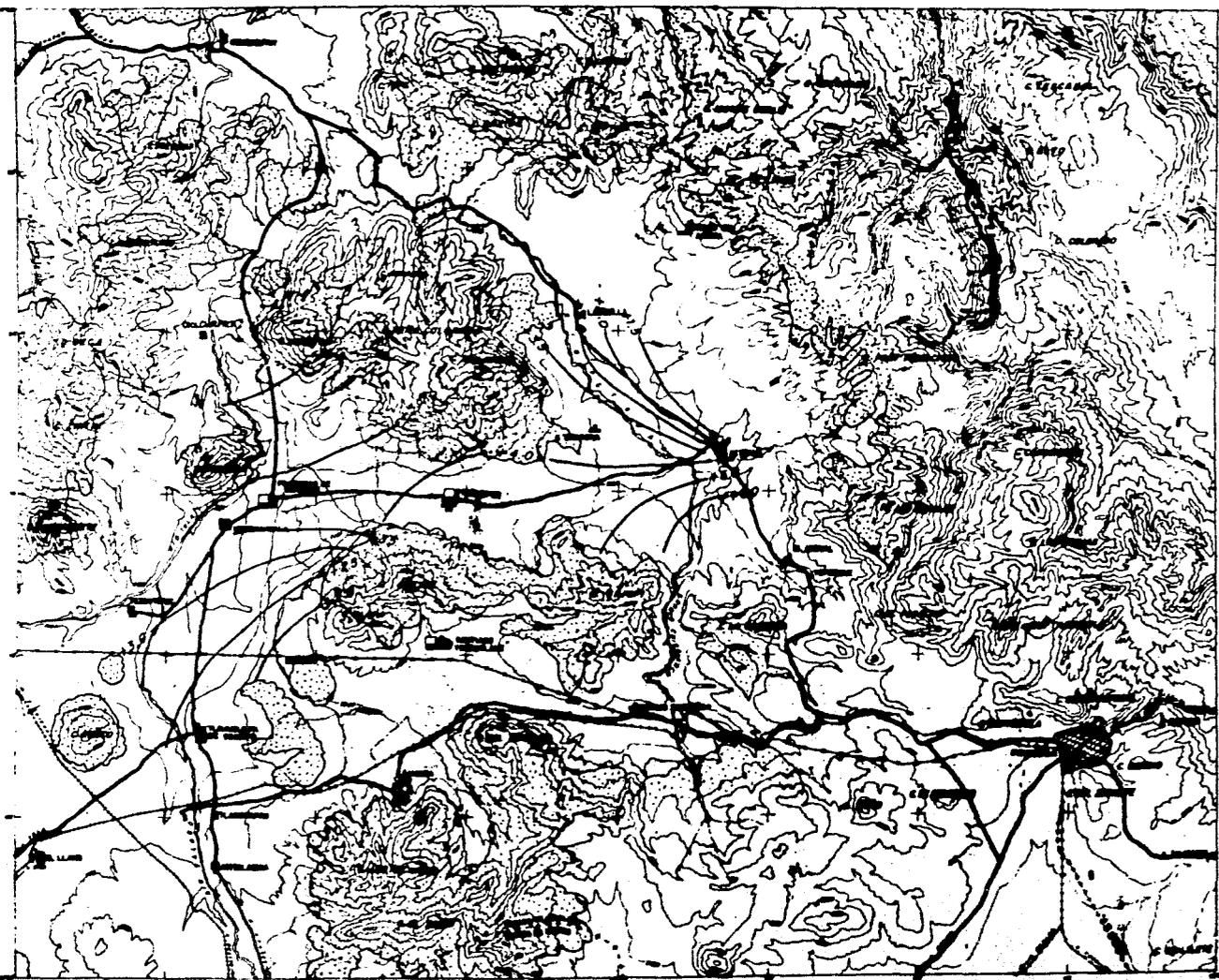
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

ZONA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HOJ.
CONFIGURACIONES DEL NIVEL ESTÁTICO

T E S I S P R O F E S I O N A L

JOSE ANDRES VAZQUEZ Z. MEXICO, D.F. ANEXO No.

FIG. Nº 22

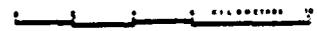


DECLINACION

S I M B O L O G I A

- P O B L A C I O N E S
- C A R R E T E R A S
- L I M I T E D E E S T A D O
- F E R R O C A R R I L
- R I O S
- A R R O Y O S
- O L E O D U C T O
- C U R V A D E N I V E L
- F R O N T E R A I M P E R M E A B L E
- C U R V A D E I G U A L P R O F U N D I D A D A L N I V E L E S T A T I C O E N M P M

ESCALA 1: 200 000 APROX.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA

ZONA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, NO. 1
EVOLUCION DEL NIVEL ESTÁTICO

TESIS PROFESIONAL

FIG. Nº 24