

24:12



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA DE OAXTEPEC PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA AL CENTRO VACACIONAL I.M.S.S. OAXTEPEC”**

## **TESIS PROFESIONAL**

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

**P R E S E N T A :**  
**JORGE HIDALGO ZURITA**

**Director de Tesis:**  
**HECTOR LUIS MACIAS GONZALEZ**



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

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

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

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

INDICE GENERAL.

	Pag.	
Indice General .....	I	
Indice de Figuras .....	III	
Indice de Gráficas .....	IV	
Indice de Tablas .....	V	
CAPITULO I.-	INTRODUCCION.....	1
I.1	Marco de Desarrollo.....	1
I.2	Objetivo.....	2
I.3	Metodología.....	3
CAPITULO II.-	GEOGRAFIA.....	5
II.1	Localización.....	5
II.2	Vias de Comunicación.....	7
II.3	Clima.....	9
II.4	Vegetación.....	14
II.5	Hidrografía.....	15
CAPITULO III.-	GEOLOGIA.....	20
III.1	Fisiografía.....	22
III.2	Geomorfología.....	26
III.3	Estratigrafía.....	28
III.4	Tectónica.....	41
III.5	Geología Histórica.....	44

II

	Pag.
CAPITULO IV.- PROSPECCION GEOFISICA.....	48
IV.1 Fundamentos Teóricos.....	48
IV.2 Método de Investigación.....	53
IV.3 Resultados.....	55
IV.4 Cuadro Comparativo de Resultados.....	56
 CAPITULO V.- GEOHIDROLOGIA.....	 59
V.1 Unidades Geohidrológicas.....	59
V.2 Piezometría.....	68
V.3 Hidrogeoquímica.....	72
V.4 Funcionamiento del Acuífero.....	82
 RESUMEN.....	 86
 CONCLUSIONES.....	 94
 ANEXO.....	 95
A.- Sobre la Perforación de los Pozos.....	96
B.- Gráficas de los S.E.V. ....	107
 BIBLIOGRAFIA.....	 114

### III

#### INDICE DE FIGURAS.

FIGURA.		Pag.
II.1	Localización.....	6
II.2	Area de Estudio.....	8
II.3	Hidrología.....	19
III.1	Provincias Fisiográficas.....	24
III.2	Columna Estratigráfica.....	30
IV.1	Equipo de Resistividad.....	51
IV.2	Localización de los S.E.V. ....	58
V.1	Sección Hidrogeológica Idealizada.....	85
A.1	Pozo "S.E.V.-2" .....	99
A.2	Pozo "Fuente Ornamental" .....	103

INDICE DE GRAFICAS.

GRAFICA.		Pag.
II.A	Histograma de la E.C. de Yecapixtla...	11
II.B	Histograma de la E.C. de Oaxtepec.....	12
II.C	Histograma de la E.C. de Yautepec.....	13
II.1	Relación Precipitación-Escurrimiento - en la Estación del Río Yautepec.....	17
A.1	Datos de la Perforación: "Pozo SEV-2".	98
A.2	Datos de la Perforación: "Pozo Fuente Ornamental".....	102
A.3	Prueba de Desarrollo con Columna de 4" de Diámetro.....	105
A.4	Prueba de Desarrollo y Aforo con Colum na de 6" de Diámetro.....	106
	S.E.V.-1 .....	107
	S.E.V.-2 .....	108
	S.E.V.-3 .....	109
	S.E.V.-4 .....	110
	S.E.V.-5 .....	111
	S.E.V.-6 .....	112
	S.E.V.-7 .....	113

INDICE DE TABLAS.

	Pag.
<b>TABLA.</b>	
V.1 Censo de Aprovechamientos.....	65-67
V.2 Análisis Químico.....	73-75

## CAPITULO PRIMERO

## INTRODUCCION

## 1.1.- MARCO DE DESARROLLO.

La necesidad de resolver el problema de abastecimiento de agua en el Centro Vacacional Oaxtepec, Mor. llevó al Instituto Mexicano del Seguro Social, a través de la Jefatura de Proyectos, a contratar los servicios profesionales de la Compañía Ingeniería, Geología y Arquitectura de México, S.A. (IGAMSA), para realizar un "Estudio Geofísico en la zona de la Meseta del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec", con el fin de determinar las posibilidades de explotación del agua subterránea, mediante pozos profundos en los predios del propio Instituto.

El autor de esta tesis recepcional participó en: reconocimiento general del área; recopilación, selección y análisis de la información; el trabajo de campo en sus aspectos fundamentales de reconocimiento geológico de la zona y de investigación de los aprovechamientos hidráulicos; y en el trabajo de gabinete tendiente a la recopilación, revisión, análisis e interpretación de los datos obtenidos para elaborar las cartas temáticas y el informe final.

Es menester explicitar en este apartado que en la zona de interés se realizó una investigación de campo, tendiente a obte-



ner los datos relativos a los aprovechamientos hidráulicos existentes en los alrededores de la zona estudiada, no pudiéndose - lograr totalmente este objetivo por falta de colaboración de las compañías fraccionadoras establecidas en el área; así mismo se - recurrió a las oficinas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos del Estado de Morelos, donde pudo verificarse - que la información existente de esa zona no se encuentra actuali- zada; por ello se recurrió, siendo el más completo y actualizado, al estudio de "Evaluación de los Recursos Hidráulicos en la cuen- ca de Oaxtepec para abastecimiento de agua del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec" de la compañía "Tecnología Avanzada en General S.A." (TAGSA).

Los estudios de campo y gabinete realizados permitieron - fijar la posición para la perforación de dos pozos por medio de los cuales se logró la extracción de 11 l.p.s., mismos que satis- facen las necesidades de abastecimiento de agua del Centro Vaca- cional Oaxtepec, Mor.

#### 1.2.- OBJETIVO.

El presente estudio tiene como fin determinar el funciona- miento del acuífero existente en el área en miras a la perfora- ción de un pozo para el aprovechamiento del agua subterránea en los terrenos del Centro Vacacional Oaxtepec, Mor.

### 1.3.- METODOLOGIA.

Habiendo sido determinado el objetivo se definieron cuatro metas correspondientes a los rubros de geografía, geología, geofísica y geohidrología. El procedimiento empleado para cumplir - con ellas implicó las siguientes actividades:

a) Un reconocimiento general del área.

Se realizó un primer reconocimiento de la zona con el fin de tener una idea general de las condiciones hidrogeológicas y - su relación con las condiciones de demanda a satisfacer.

b) Recopilación, selección y análisis de la información.

Un segundo paso lo constituyó el acceso a la información existente respecto al área. Se consultaron los estudios, elaborados tanto por instituciones públicas como privadas, que se han - realizado con anterioridad en la zona. Con ello se logró ampliar los conocimientos de la zona respecto a los rubros que se pretendía investigar.

c) Trabajo de campo.

En esta etapa se realizaron varias actividades mediante - las cuales se llegó a determinar las condiciones geohidrológicas de la región:

- Reconocimiento físico general de la zona con objeto de examinar los accesos y las condiciones geológicas e hidrológicas del área.

- Reconocimiento de las características litológicas y estructurales de las rocas que se encuentran emplazadas en el área, así mismo como las condiciones morfológicas de la zona, tratando de entender las características hidrológicas y su interacción con el marco geológico del lugar.

- Reconocimiento hidrogeológico elaborando el censo de aprovechamientos hidráulicos, en vistas a verificar e interpretar el marco hidrogeológico de la región determinando el funcionamiento del acuífero.

- Selección, en base al reconocimiento geológico, de los sitios más convenientes para la realización del estudio geofísico; así mismo como la realización de los Sondeos Electricos Verticales, cuyo análisis permitió determinar la estructura geoelectrica del subsuelo.

- Determinar y supervisar el emplazamiento de los pozos que permitan la extracción del agua subterránea.

d) Trabajo de gabinete.

La última etapa consistió en la recopilación, revisión, análisis e interpretación de los datos obtenidos; en base a ellos se elaboraron las cartas temáticas y el informe final.

## CAPITULO SEGUNDO

## GEOGRAFIA

En el presente capítulo se señala la localización del -  
área de estudio y la manera de acceder a ésta. Así mismo se ofre  
ce un marco ubicativo de la zona en cuanto a sus condiciones hi-  
drográficas, de temperatura, precipitación y vegetación.

## II.1.- LOCALIZACION.

El Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec, con coordenadas -  
geográficas: 18° 54' 06'' de latitud norte y 98° 58' 42'' de lon-  
gitud al oeste del Meridiano de Greenwich, se encuentra localiza-  
do en la porción nororiental del Estado de Morelos, en los linde-  
ros del poblado de Oaxtepec, Municipio de Yautepec, Mor. aproxi-  
madamente a 18 km al noroeste de la Ciudad de Cuautla, Mor., que  
es el centro comercial de la región.

A su vez, la zona de estudio se encuentra ubicada entre -  
las coordenadas geográficas 18° 50' 00'' y 19° 00' 00'' de lati-  
tud norte, y 98° 52' 00'' y 99° 02' 00'' de longitud al oeste -  
del Meridiano de Greenwich. En el área, las principales poblacio-  
nes que se encuentran son: Cuautla, Yautepec, Yacapixtla, Tlaya-  
capan, Atlatlahuacan, Cocoyoc y Oaxtepec.



FIGURA II.1

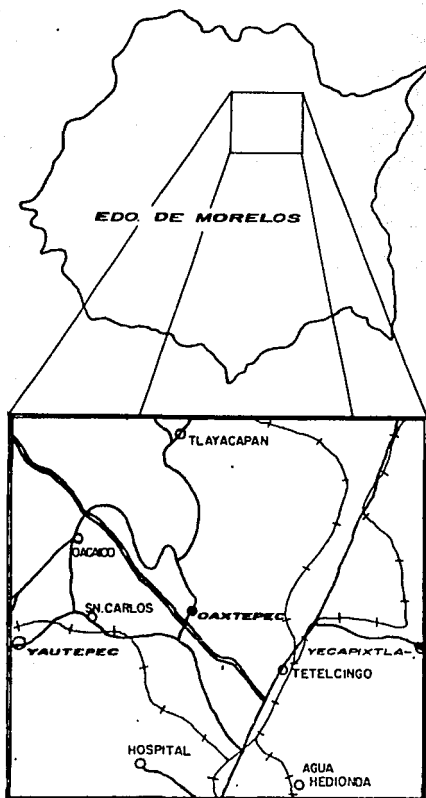
## II.2.- VIAS DE COMUNICACION.

La zona de estudio se encuentra comunicada con la capital de la República Mexicana por medio de la carretera Federal N° 95, la cual parte de la Ciudad de México hacia la ciudad de Cuernavaca desviándose, 7 km después de la curva denominada "La pera", - hacia la ciudad de Cuautla por la carretera Federal N° 15; por - esta carretera, a aproximadamente 26 km, se encuentra el Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec. El trayecto de recorrido entre la Ciudad de México y el Centro Vacacional, a una velocidad aproximada de 100 km/h, se puede cubrir en 1 hora 30 minutos.

De la ciudad de Cuernavaca se puede llegar al Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec por la carretera Federal N° 138; pasando por las poblaciones de Yautepec, Cocoyoc y finalmente Oaxtepec, después de un recorrido de 42 km.

Dentro del área existe una red de carreteras y caminos - transitables todas las épocas del año, así como una red de brechas y veredas con un grado diferente de acceso en la época de - lluvias. Cuenta la zona también, con un sistema ferroviario que permite el acceso a poblaciones cercanas al Centro Vacacional - I.M.S.S. Oaxtepec, como son las poblaciones de Cuautla y Yautepec.

Se pueden ver las figuras II.1 y II.2 sobre la localización del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec.

**AREA DE ESTUDIO****FIGURA II.2**

### II.3.- CLIMA.

El clima predominante en la zona de estudio, según la clasificación de E. Köppen y modificada por Enriqueta García, es de tipo semicálido y subhúmedo. En la porción sur de Oaxtepec la temperatura pasa a cálida, y hacia el norte de la zona de estudio, al norte del paralelo 19, la temperatura pasa a ser templada y tiende a descender conforme se asciende topográficamente en la sierra Chichinautzín.

Para conocer las condiciones de precipitación, temperatura y evaporación de la zona, se seleccionaron cinco estaciones climatológicas: Oaxtepec, Yautepec, Yacapixtla, Tlayacapan y Cuautla, las cuales se ubican en los cuatro puntos cardinales en torno a la Estación de Oaxtepec. La información obtenida corresponde a la precipitación y a la temperatura; la evaporación fué calculada en gabinete, en base a la fórmula de L. Turc con los datos de precipitación y temperatura.

La precipitación media de la zona, para un periodo de cinco años (1981-1985), y en base al promedio anual de alturas de lluvia de las cinco estaciones consideradas, es de 964.0 mm.

El régimen de lluvias es en el verano, siendo el mes de septiembre, en promedio y durante el periodo 1982-1985, el más lluvioso en la zona; su promedio es de 236.2 mm.

La precipitación invernal para la zona, y para el periodo 1982-1985, es de 7.5 mm.



La máxima precipitación anual, para el mismo periodo antes consignado, tuvo lugar en Yacapixtla en 1984 con 1395.1 mm.

La precipitación mínima tuvo lugar en el mismo poblado de Yacapixtla en 1982 con 556.6 mm.

En la zona de estudio, para el periodo 1982-1985, el año más seco fué el de 1982 con 712 mm. y el más húmedo fué el de 1984 con un promedio de 1089.3 mm.

La temperatura en la zona de estudio varía de 14.0 °C, como promedio mínimo anual, a 28.6 °C, como promedio máximo anual.

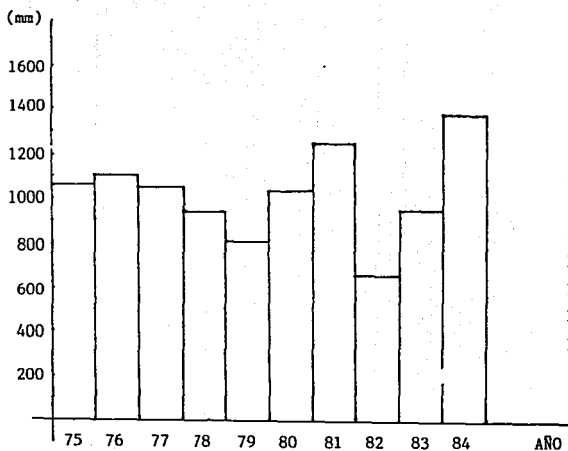
El promedio de temperatura anual más bajo se registró en Yautepec en 1984 con 11.7 °C; y el más alto, en el mismo poblado de Yautepec, tanto en el año de 1983 como en el de 1985, con 30.1 °C.

En la zona de estudio, y para el periodo 1982-1985, el mes de enero ha registrado un promedio de temperatura mínima de 10 °C y una máxima de 27.2 °C; para el mes de mayo, el promedio mínimo de temperatura fué de 16.6 °C y el máximo de 31.7 °C.

La evapotranspiración, calculada según el método de L. Turc, resultados que deben tomarse con reserva, señala solo un resultado aproximado, para darnos idea del fenómeno, pues en él intervienen otros elementos como por ejemplo: la vegetación, el tipo de roca, etc.

La formula de L. Turc establece que:

# HISTOGRAMA

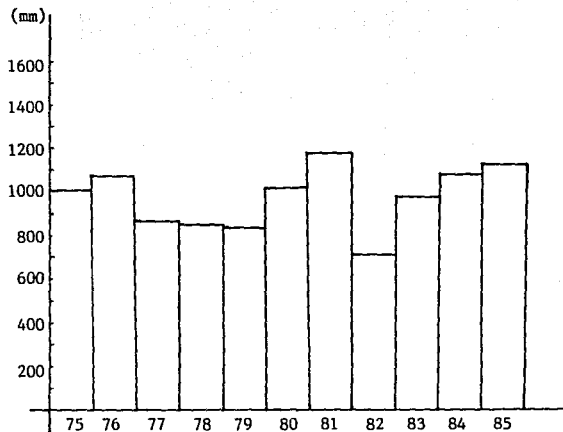


AÑO	PRECIPITACION ANUAL (mm)
1975	1071.5
1976	1107.2
1977	1057.5
1978	933.8
1979	803.3
1980	1035.9
1981	1260.0
1982	664.8
1983	943.6
1984	1395.1
1985	—

PRECIPITACION EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE YECAPIXTLA

GRAFICA I I . A

# HISTOGRAMA

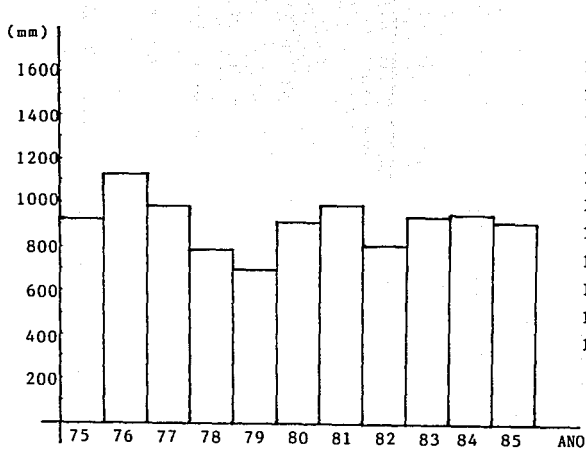


AÑO	PRECIPITACION ANUAL (mm)
1975	997.8
1976	1062.4
1977	839.5
1978	826.6
1979	816.9
1980	1001.1
1981	1168.5
1982	692.2
1983	964.0
1984	1073.5
1985	1117.3

PRECIPITACION EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE OAXTEPEC

GRAFICA I I . B

# HISTOGRAMA



ANO	PRECIPITACION ANUAL (mm)
1975	930.7
1976	1130.2
1977	986.1
1978	783.1
1979	701.8
1980	922.0
1981	995.5
1982	817.2
1983	945.3
1984	956.2
1985	920.9

PRECIPITACION EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA DE YAUTEPEC

GRAFICA I I . C

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$E_{tr}$  = Evapotranspiración

$P$  = Precipitación

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$

Los datos obtenidos para el año de 1985, a una precipitación promedio anual de 28.7 °C, es de 898.9 mm de evapotranspiración.

Según la fórmula de L. Turc la evapotranspiración tiende a ser nula con la ausencia de precipitación, sin ser mayormente significativa la temperatura del invierno o la primavera.

#### II.4.- VEGETACION.

Respecto a las condiciones ecológicas de la región, podemos decir, que la vegetación predominante en el área de estudio corresponde a la selva caducifolia: es decir, una vegetación que comprende a un conjunto de bosques densos, propios de regiones - cálidas, que pierde su follaje durante la época seca del año y - cuya altura no excede los 15 metros; son árboles, y en su mayoría arbustos, que se encuentran diseminados por toda la parte centro y sur de la zona de estudio: pochotes, tepeguajes, guasimos, etc.

Conforme se va ascendiendo en la sierra Chichinautzín, la vegetación va cambiando a una más propia de climas templados y frios, se trata de bosques de ensinos y pinos. Las coníferas son especies que no pierden su follaje en las épocas secas del año; o sea, que son perenifolas y no latifoliadas, como las que se manifiestan al sur de la zona de estudio y como son los encinos que incluso cohabitan con las coníferas.

## II.5.- HIDROGRAFIA.

Entre las vertientes más relevantes del Océano Pacífico se encuentra la del río Balsas donde uno de sus tributarios más importantes es el río Amacuzac; y como una cuenca de éste se localiza la del río Yautepec, objeto del estudio.

La cuenca del río Yautepec limita al norte con la cuenca endorréica del Valle de México, al este limita con la cuenca del río Apatlaco; éstas últimas pertenecientes también a la cuenca del río Amacuzac.

El escurrimiento del río Yautepec tiene dos orígenes:

a) Uno provocado por el escurrimiento directo de la precipitación pluvial que tuvo lugar en la sierra Chichinautzín; escurrimiento que se abre paso a través de cañones (fallas y fracturas) y de arroyos secundarios que aportan sus aguas a la corriente principal. Los aportes más significativos se desprenden de la margen derecha del río Yautepec por entre las barran-

cas del Volcan de Otumba, de Cacahuatitla y de Pantitlan. En esta parte de la cuenca, constituida principalmente por corrientes intermitentes, que han labrado su cauce sobre materiales de origen volcánico en secciones transversales en forme de "V", al río Yautepec se le conoce con el nombre de río Itzmatitlán.

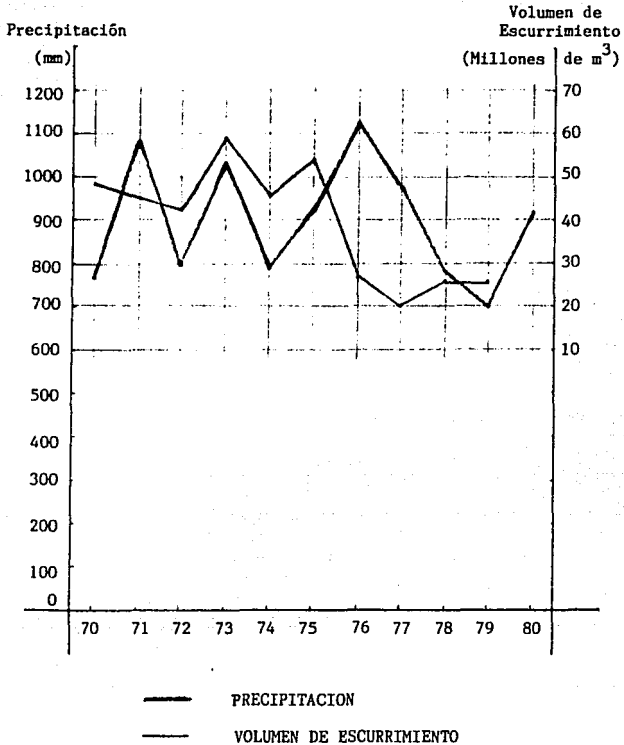
b) El otro origen de las aguas que constituyen el escurrimiento del río Yautepec es aportado por los manantiales que brotan en los alrededores de Oaxtepec, estando entre los más importantes los localizados en el Ejido del Bosque: El Bosque y el de Poza Azul. De hecho, con el manantial de Poza Azul se dá origen al flujo de aguas perennes del río Yautepec.

Al norte del poblado de Yautepec, y en los márgenes del río, se encuentra una estación hidrométrica operada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En ella, además de los datos de precipitación y temperatura, se obtienen los datos sobre el escurrimiento del río Yautepec y de cuatro canales derivacionales, localizados aguas arriba de la estación, que son: Itzmatitlán, Oacalco, Cocoyoc y Oaxtepec.

Según los datos estimados en la estación hidrométrica de Yautepec, en la gráfica II.1 se hace una relación entre la precipitación anual y los volúmenes anuales de escurrimiento para el periodo de 1960-1980.

Como podemos observar, en la grafica de volumen de escurrimiento-precipitación (grafica II.1), se tiende a dar un decremento que hipoteticamente se explica por una sobre explotación -

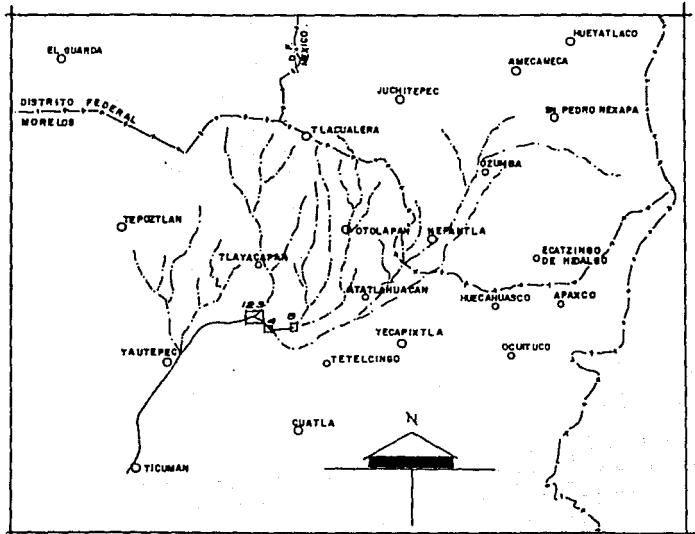
RELACION PRECIPITACION-ESCURRIMIENTO EN LA ESTACION DEL RIO YAUTEPEC.



GRAFICA II.1



del acuífero, llevada a cabo por la proliferación de pozos en el área de los fraccionamientos localizados al noreste del poblado - de Oaxtepec, antecediendo a la descarga que el acuífero realiza - al río Yautepec a través de los manantiales.



POBLADO	○
CORRIENTE INTERMITENTE	— · — · — · — · — · — ·
CORRIENTE PERENE	— — — — — — — — — —
LIMITE ESTATAL	— + — + — + — + — + — + — +
MANANTIAL	□
OJO DE SAN JUAN	1
CANTARITOS	2
CUPULA	3
EL BOSQUE	4
POZA AZUL	5

## HIDROLOGIA

## CAPITULO TERCERO

## GEOLOGIA

En el presente capítulo se pretende hacer una caracterización geológica de la zona. En el se menciona: la composición litológica y secuencia cronológica de las rocas expuestas; la configuración geográfica a que los procesos erosivos han dado lugar; los eventos tectónicos registrados en la zona, manifestandose estructuralmente en el emplazamiento de las rocas; finalizando, al integrar los diferentes datos, con una hipótesis del proceso histórico en el que la zona se ha visto envuelta.

Como un bosquejo general, el área de estudio se encuentra localizada regionalmente en el límite nororiental de la provincia geológica de la cuenca Morelos-Guerrero, y cubriendo también una franja del límite sur del Eje Neovolcánico (López Ramos, 1981). Corroborando lo anterior, podemos observar que al suroeste del Centro Vacacional Oaxtepec se presentan los afloramientos de formaciones Cretácicas y al norte, oriente y poniente las manifestaciones Igneas del Terciario y del Cuaternario.

Al suroeste de la zona estudiada afloran las rocas cretácicas con una morfología expresada en lomas bien redondeadas y alineadas aproximadamente NW-SE en el rumbo general de los ejes de las estructuras de los plegamientos. Los cerros alcanzan elevaciones de 1300 a 1400 m.s.n.m., es decir, entre 100 m y 200 m

por encima del valle volcanoclástico que se encuentra en su entorno. Este conjunto de rocas cretácicas está formado por las formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala.

Dentro de la cuenca Morelos-Guerrero fueron depositadas las formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala. La Formación Morelos está constituida por estratos de calizas, en ocasiones fosilíferas, y por estratos de dolomitas, pudiendo contener yesos; la Formación Cuautla está constituida por calizas fosilíferas, presentando en ocasiones nódulos de pedernal, aunque muestra otra facie en la que alterna con terrígenos; finalmente la Formación Mezcala está compuesta de lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados con grano fino.

Dentro de la región estudiada, tanto al norte como al norte y noroeste, la topografía se eleva en forma constante hacia el Eje Neovolcánico. En los alrededores del poblado de Oaxtepec, y sobre todo en el Centro Vacacional, se observan limolitas y areniscas de grano fino, hematizadas, que alternan con capas de cuarzo coloidal; esta litología es de la Formación Balsas. Al noroeste del Centro Vacacional aflora la Formación Tepoztlán, formada por lahares de composición intermedia. En el área, sin embargo, predominan los depósitos volcánicos en los que combinan derrames lávicos con material piroclástico del Grupo Chichinautzín.

En el aspecto estructural, la región presenta estructuras volcánicas del tipo cinerítico y mixto, con derrames de composi-

ción basáltica. Los derrames volcánicos están asociados a numerosas fracturas de tendencia radial, con orientación dominante NE-SW, actuando como centro emisor los conos volcánicos, especialmente los de mayor elevación.

El evento tectónico de fines del Cretácico y principios del Terciario dió lugar a cuencas lacustres en las que se depositaron los materiales post-orogénicos, identificados como del Grupo Balsas; originándose posteriormente emplazamientos volcánicos, producto de fallamientos corticales (fallas y fracturas) y erupciones centrales (volcanes).

Morfológicamente el área de estudio se caracteriza por un conjunto de lomas alargadas con orientación predominante NE-SW, cortadas por arrollos intermitentes de profundidad variable. Es frecuente encontrar los derrames basálticos emplazados sobre coladas o emisiones más antiguas que dan lugar a una topografía variable, lo que explica los cambios bruscos en el curso de las corrientes que originan pequeñas cascadas. Otra característica sobresaliente es la presencia de cavernas tanto al interior de los mismos basaltos como entre los contactos de dos coladas.

### III.1.- FISIOGRAFIA.

La zona de estudio esta localizada dentro de lo que E. Raisz denominó como la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en ella se incluye la región montañosa ubicada al sur -

del Eje Neovolcánico, abarcando parte de los Estados de Nayarit, Jalisco, Colima y Morelos.

La Provincia de la Sierra Madre del Sur está formada por metasedimentos del Paleozoico (Complejo Acatlán y Esquistos Taxco), que en muchos lugares están cubiertos por depósitos marinos Mesozoicos y depósitos Terciarios continentales. En esta provincia existen pocos aparatos volcánicos, pero grandes extensiones cubiertas por materiales piroclásticos.

El Centro Vacacional Oaxtepec se ubica dentro de la subprovincia Fisiográfica denominada Cuenca del Balsas-Mezcala, con una orientación este-suroeste; esta provincia se extiende a lo largo de 600 km y esta limitada al norte y al poniente por el Eje Neovolcánico, al oriente por la subprovincia de la Meseta de Oaxaca y al sur por la subprovincia de la Vertiente del Sur.

Respecto a la clasificación que Manuel Alvarez hace de las provincias fisiográficas, la región de estudio esta localizada en la parte nororiental de la Provincia Fisiográfica Cuenca del Balsas, en los límites de la Provincia Fisiográfica de Zonas de Fosas Tectónicas. Manuel Alvarez señala la Cuenca del Balsas dentro de una curvatura de nivel de 1500 m.s.n.m. (a excepción de la desembocadura del río Balsas). Ella tiene una longitud de 600 km por 150 km en su parte más ancha. El río Balsas recoge el dren de la cuenca por medio de muchos tributarios que se unen y llevan sus aguas al Océano Pacífico (las aguas del río Yautepec colaboran en éste proceso). En esta provincia predominan las

## PROVINCIAS FISIOGRAFICAS



FIGURA III.1

rocas del Mesozoico que se encuentran plegadas e intensamente fa  
lladas; hay también rocas eruptivas, tales como las andesitas y  
los basaltos, que se encuentran dispersas por toda el área sedi-  
mentaria formando, en algunos lugares, cadenas alargadas; e in-  
cluso en algunos lugares, fuera de la zona de estudio, se encuentr  
an algunas intrusiones. Manuel Alvarez señala como una caracter  
ística de esta zona los sismos frecuentes, siendo así una región  
de gran sensibilidad tectónica.

El relieve que se observa regionalmente se compone tanto  
por estructuras ígneas como por sedimentarias. En la zona nor-  
occidental del Centro Vaccional el intemperismo ha venido labrand  
o de forma caprichosa las rocas de la Formación Tepoztlán, don-  
de el relieve topográfico es abrupto. En la zona norte y nores-  
te, con una pendiente moderada, descienden las lavas emanadas -  
de los aparatos volcánicos de la sierra del Chichinautzín, alcanz  
ando elevaciones de hasta los 3900 m.s.n.m. Las lavas que constit  
uyen las faldas de la sierra Chichinautzín forman una planicie  
ondulada de topografía suave que se ve interrumpida por pequeños  
acantilados con profundidades promedio de 20 m. Hacia el sur se  
extiende el Valle de Cuautla formado por aluviones recientes a -  
una elevación media de 1300 m.s.n.m. Finalmente en el suroccidente  
te, los afloramientos calcareos forman sierras alargadas que -  
constituyen estructuras geológicas denominadas anticlinales y -  
sinclinales y presentando una dirección predominante NW-SE.



## III.2.- GEOMORFOLOGIA.

En la zona de estudio la parte constituida por las estructuras cretácicas, al suroccidente, conforma montañas de baja altura y más o menos redondeadas; son los plegamientos que resultaron de las fuerzas compresionales de fines del Cretácico. Es una zona que se encuentra formada por los anticlinales de Ticumán y de Olintepc y por el sinclinal de Ticumán. En éste se abre paso el río Yautepec serpenteando paralelamente a las estructuras plegadas, y que en la parte sur de su cauce muestra algunos meandros. Razones que geomorfológicamente permiten ubicar a la zona suroccidental en una etapa de madurez. El resto de la región estudiada se encuentra en una etapa de rejuvenecimiento a raíz de las emanaciones lávicas del Cenozoico. Actividad volcánica que - dió lugar a un gran número de cuencas endorreicas que permitieron el depósito de sedimentos arenosos y conglomeráticos, sepultándose así muchas de las estructuras cretácicas. Actualmente el río Amacuzac, tributario del Balsas y colector del Yautepec, ha abierto la cuenca, dejando ésta de ser endorreica.

En la parte sur del Centro Vacacional Oaxtepec, y con una orientación NW-SE, se extienden los depósitos aluviales que conforman el Valle de Cuautla con una cota aproximada de 1300 m.s.n.m. En la parte sureste del Centro Vacacional Oaxtepec descansan, con una pendiente aproximada de 20°, unos conglomerados con orientación NE-SW en su estructura de depósito; su forma es re-

dondeada y se encuentra en un 70% del área expuesta en la Carta Geológica "Cuautla" N° E14B51 de la Secretaría de Programación y Presupuesto; su elevación sobre el nivel del mar se encuentra entre las cotas 1400 m y 1600 m.

Otra característica geomorfológica que se observa regionalmente, en la porción norte de la zona de estudio, está constituida por las emanaciones volcánicas; son lomerios arredondados de lavas y tobas, montañas volcánicas bajas y por conos cinerítico. El relieve de las bajas montañas, al noroeste del Centro Vacacional, se presenta en forma escarpada como resultado de la erosión de brechas volcánicas y tobas de composición andesítica; configuran también esta topografía flujos lávicos que formaron el arrastre de suelos inestables (lahares); son depósitos caóticos de materiales de diversa granulometría y de tipo principalmente ígneo de naturaleza compacta. Los conos cineríticos se distribuyen por el noreste de la zona de estudio, compuestos principalmente por brechas volcánicas y tobas, se caracterizan por estar truncados. Los lomerios redondeados, constituidos por derrames basálticos e intercalaciones de piroclásticos, conforman una planicie ligeramente ondulada y con una pendiente moderada.

El drenaje formado por las corrientes del área se encuentra integrado en diferentes sistemas: a) el sistema radial, localizado en torno a los aparatos volcánicos b) un sistema más denitrítico que se abre paso entre los basaltos de la formación Chinautzín, desarrollados a partir de una cota de 1600 m - 1700 m;

el cauce de estas corrientes es a través de barrancas angostas y en forma de "V", desplazándose por pendientes moderadas que en ocasiones se ve precipitado en pequeñas cascadas con profundidad promedio de 20 m. c) finalmente, en la zona de las rocas mesozoicas, el drenaje tiende a ser más rectangular.

Por la sierra Chichinautzín (que constituye un parteaguas regional), a una altura aproximada de 1900 m, el río Yautepec - hace descender sus aguas, atravesando el Centro Vacacional Oaxtepec a los 1250 m, hasta el río Amacuzac a los 800 m.s.n.m.

En resumen, podemos decir que la zona de estudio se encuentra en una etapa de madurez que se ha visto rejuvenecida por las emisiones volcánicas del Cenozoico, sobre todo por aquellas que dieron lugar a la sierra del Chichinautzín de composición basáltica.

### III.3.- ESTRATIGRAFIA.

En la parte suroeste de la zona de estudio se manifiestan rocas sedimentarias marinas del Cretacico Superior que se han identificado con las formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala. La Formación Cuautla sobreyace a las calizas de la Formación Morelos del Cretácico Inferior y sobreyace a las areniscas y lutitas de la Formación Mezcala. En orden cronológico aparecen posteriormente, aunque en forma discordante, las rocas constitutivas del Grupo Balsas del periodo Eoceno-Oligoceno; le continua la Forma-

ción Tepoztlán del Mioceno-Plioceno y posteriormente la Formación Tlayacac del Plioceno; después aparecen los conglomerados del - Pleistoceno; y por último, los basaltos del Grupo Chichinautzín y los sedimentos aluviales del Cuaternario.

En la zona se encuentran tanto rocas ígneas como sedimentarias, éstas últimas están representadas por las de tipo marino y las de tipo continental. En las rocas marinas continentales - aparecen tanto las de origen lacustre como las de origen aluvial. Las de origen ígneo varían entre las andesitas, las riolitas, - los basaltos y los depósitos tobáceos.

En las inmediaciones del Centro Vacacional afloran arenas y limos que se encuentran alternando con yesos, y son los sedimentos que representan al Grupo Balsas en la región. La mayoría de las unidades estratigráficas presentes en el área de estudio están cubiertas por las manifestaciones ígneas del Grupo Chichinautzín.

A unos 3 km del Centro Vacacional, en la parte noroeste, se encuentra un afloramiento rocoso identificado como de la Formación Tepoztlán. Y a unos 3.5 km al sureste del mismo Centro Vaccacional se encuentran unos conglomerados de edad Cuaternaria, - siendo clastos volcánicos procedentes de rocas de edad Terciaria.

En la página siguiente puede observarse la Tabla Estratigráfica N° III.1 y al final del escrito puede observarse el plano Geológico N° III.1 .

ERA	DIVISION	SUENRERO-MORELOS	MEZCALA-OLINALA	CUERNAVACA-CUAUTLA	OAXTEPEC-TAUTEPEC	
CENOZOICO	RECIENTE					
	PLEISTOCENO	F. GUERRERACA		SPO. CHICHINAUTZIN	SPO. CHICHINAUTZIN	
	PLIOCENO	A. ZEMPOALA		F. GUERRERACA		
	TERCIARIO	MIOCENO	F. TEPOZTLAN	A. BUENAVISTA	F. TEPOZTLAN	F. TEPOZTLAN
		OLIGOCENO	F. TILZAPOTLA	F. TILZAPOTLA	F. TILZAPOTLA	
	EACENO	SPO. BALSAS	SPO. BALSAS	SPO. BALSAS	SPO. BALSAS	
	PALEOCENO	F. YATELCHINO	F. YATELCHINO			
	MESOZOICO	CRETACICO	F. MEZCALA	F. MEZCALA	F. MEZCALA	F. MEZCALA
		CRETACICO	F. MEZCALA	F. MEZCALA	F. MEZCALA	F. MEZCALA
		CRETACICO	F. CUAUTLA	F. CUAUTLA	F. CUAUTLA	F. CUAUTLA
CRETACICO		F. CUAUTLA	F. CUAUTLA	F. CUAUTLA	F. CUAUTLA	
CRETACICO		F. MORELOS	F. MORELOS	F. MORELOS	F. MORELOS	
CRETACICO		F. XONICALCO	F. XONICALCO			
CRETACICO		F. ACUITLAPAN	F. ACUITLAPAN	F. XONICALCO		
CRETACICO		F. ACANIZOTLA				
CRETACICO						
CRETACICO						
PALEOZOICO	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
	PERMIANO					
PALEOZOICO	PERMIANO					
	PENSILVANICO	ESQUISTO TAXCO				
	DEVONICO					
	DEVONICO					
PALEOZOICO	SILURICO	COMPLEJO ACATLAN				
	ORDOVISICO	COMPLEJO ACATLAN				
	CAMBRICO	COMPLEJO ACATLAN				
PRE CAMBRICO	COMPLEJO ACATLAN					

## COLUMNA ESTATIGRAFICA

## a) FORMACION MORELOS.

El nombre de Formación Morelos fué propuesto por Carl Fri es en 1960 para designar una secuencia de sedimentos evaporíti- cos en su base, seguidos por un paquete de calizas contaminadas por materiales terrígenos arcillo-arenosos.

En general, esta formación está dividida en dos partes: - un miembro basal constituido principalmente de evaporitas que se asigna a los primeros depósitos ocurridos durante los inicios de la transgresión marina sobre la región sur de México. Se presen- tan en horizontes laminares constituidos por anhidrita y yesos, con cantidades menores de dolomita, calcita y óxidos de hierro.

El miembro carbonatado está formado principalmente por - una sucesión de calizas intercaladas con dolomias, en las cuales abundan los nódulos de pedernal, son de color gris claro y obscu ro y localmente son de color crema; la textura varía entre calca renita y calcilutita. Hacia la cima de la unidad se encuentran - gran cantidad de fósiles, siendo los más significativos los pele cípodos, rudistas, radiolarios y gasterópodos; además de microfó siles de la familia miliolidae. El espesor total de la formación varía entre 400 m y 900 m. Por el tipo de fósiles se le ha asig- nado una edad de Albiano Medio a Cenomaniano Temprano.

En el área de estudio, la unidad aflora en localidades - cercanas al poblado de Los Arcos, donde se manifiesta como cali- za de color gris claro, con una textura de calcilutita; hay abun

dancia de fósiles que se encuentran silicificados; estructuralmente conforman el núcleo de los anticlinales de la región; son de moderada resistencia a la erosión, por lo que forman cerros de baja altitud.

b) FORMACION CUAUTLA.

Carl Fries en 1960 propuso éste nombre para designar los afloramientos de calizas en las serranías bajas situadas al poniente de la ciudad de Cuautla, las cuales están representadas por calizas de color crema y de estratificación variable. La formación consta de tres facies: a) Una sucesión potente de capas calizas de estratificación media a gruesa, del tipo de banco calcareo; b) Una sucesión más delgada de capas calizas laminadas, de estratificación delgada a media; c) una sucesión muy delgada de capas de caliza clástica, de estratificación delgada a media.

Fries menciona que entre la cima de la Formación Morelos y la base de la Formación Cuautla existe una discordancia por ausencia de depósito y por erosión; sin embargo hace explícito que la expresión fisiográfica de la facies de banco grueso de la Formación Cuautla es semejante a la de la Formación Morelos, reflejándose en su estratificación, estructura y textura. La diferencia significativa, explicitada en la resistencia a la erosión de ambas unidades, es la relativa escasez de dolomita en la Formación Cuautla, lo que implica un menor desarrollo de rasgos cár-

ticos en ella.

En la zona de estudio la Formación Cuautla se presenta como calizas densas en capas gruesas y masivas, compuestas por calcilitas, calcilimolitas y calciarenitas, del tipo de banco calcáreo; su color es de gris claro a oscuro, con un contenido moderado de nódulos de pedernal entre los planos de estratificación. De hecho el espesor de la Formación Cuautla es variable, - siendo máximo en su facies de banco calcáreo con un total de - aproximadamente 750 m, y llegando hasta los 20 m en las cercanías de la ciudad de Taxco; de tal manera que el espesor parece - haber sido determinado según la línea de la paleocosta, orientada casi de norte a sur (C. Fries).

Por el contenido de sus fósiles (rudistas y gasterópodos) se asigna a la Formación Cuautla una edad del Turoniano-Coniacino.

#### c) FORMACION MEZCALA.

El nombre de Formación Mezcala lo propuso Carl Fries en 1960 para designar una sucesión de capas interestratificadas de areniscas, lutitas y limolitas que yacen sobre la Formación Cuautla. Las lutitas son calcareas y presentan escasos lentes de caliza clástica. La parte basal es de naturaleza calcarea y puede consistir en capas de caliza arcillosa o de limolita calcarea.

La localidad tipo se encuentra a lo largo del río Balsas,



cerca del poblado Mezcala, en el km 220 de la carretera México-Acapulco.

En la zona de estudio la Formación Mezcala aflora hacia el suroeste del Centro Vacacional Oaxtepec; el afloramiento está ubicado en el fondo de un sinclinal. Tal ubicación permite entender que los afloramientos sean de pequeñas dimensiones, dado que han quedado como remanentes de la erosión o bien se encuentran sepultados por los materiales más recientes.

En esta zona, la Formación Mezcala está constituida por areniscas y lutitas calcareas de color oscuro que intemperizan en un color amarillo verdoso; las capas varían de 10 cm a 50 cm, y los estratos de arenisca tienen un espesor promedio de 40 cm. Se puede encontrar material carbonoso intercalado o mezclado con las lutitas.

De acuerdo con los fósiles encontrados, Carl Fries le asignó a la Formación una edad Coniaciano-Campaniano Inferior.

El espesor total de la Formación Mezcala es difícil de determinar, debido a que su cima fué erosionada antes de que se depositaran sobre ellas las Unidades Terciarias de tipo continental, sin embargo, se estima que el espesor podría ser del orden de los 200 m.

#### d) GRUPO BALSAS.

Este nombre fué propuesto por Carl Fries en 1960 para de-

signar a un grupo de rocas con una gran variedad litológica, sus espesores son variables y afloran en numerosas localidades del sistema fluvial Balsas-Mezcala. El grupo incluye dentro de su variedad litológica a yesos, calizas lacustres, conglomerados calcáreos y volcánicos, tobas arenosas y arcillosas, arenas, limos y corrientes lávicas interestratificadas; algunas capas muestran una gran compactación y dureza, mientras que otras no, ya que se encuentran poco consolidadas.

En los alrededores de Oaxtepec aparece este Grupo con afloramientos de limolitas y areniscas de grano fino poco consolidadas, están hematizadas y alternan con cuarzo coloidal; estratificándose incluso con capas de yesos.

El rasgo característico de las diversas unidades es su representatividad terciaria más antigua, estando depositadas encima de las formaciones del Cretácico que han sido plegadas y erosionadas. Otro rasgo, es un mayor grado de deformación en las rocas volcánicas del terciario medio y tardío que les precedieron.

El Grupo Balsas descansa discordantemente, angular y erosionalmente, encima de las rocas Cretácicas.

Por su posición estratigráfica a este Grupo le corresponde una edad Eoceno-Oligoceno, y de acuerdo con De Cerna (1957), es el resultado de un depósito postorogénico de tipo molasse. A dicho Grupo se le puede correlacionar con los Conglomerados Rojos de Guanajuato, Taxco y Zacatecas; al igual que con la Formación Ahuichila en los límites de Zacatecas y Coahuila, las capas

Huajuapán en el norte de Oaxaca, y con las Formaciones Guayabal y Chapopote de la plataforma de Córdoba.

e) FORMACION TEPOZTLAN.

Lozano García en 1953 describe con el nombre de Formación Tepoztlán, a un grupo de rocas que configuran los cerros de topografía acantilada y accidentada con alto grado de erosión localizado en las cercanías de Tepoztlán. La litología está representada por tobos de fragmentos andesíticos y matriz de textura afanítica, depositadas en capas de espesor variable: 50 cm a 10 cm; - son depósitos que en su estratificación presentan un buzamiento de 70° hacia el norte. Junto a las tobos, en forma intercalada, se presentan unas corrientes de lodo constituidas por dentritos de tamaño variable, desde arcillas finas hasta cantos de 1 m, - que se han designado con el nombre de "lahares"; son suelos inestables donde algunas capas presentan componentes mal clasificados (inequigranulares) y otras se presentan con lentes de arena y grava mejor clasificados, incluso con una estratificación cruzada que atestigua un depósito por corrientes de agua.

La diferente cementación de las capas provoca una erosión diferenciada que topográficamente permite el desarrollo de acantilados escalonados que incluso cortan profundamente la formación en las zonas de disección.

Con un fracturamiento intenso y erosión profunda, la For-

mación Tepoztlán aflora en el área de estudio a unos 4 km al noroeste del Centro Vacacional Oaxtepec; se manifiesta por una montaña baja escarpada y de topografía quebrada. Litológicamente es ta constituida por una toba de composición andesítica intercalada con una brecha volcánica de fragmentos subangulosos contenidos en una matriz afanítica; presenta una estructura porfídica y un diaclasamiento vertical que atraviesa toda la unidad. Los colores de los cantos individuales de andesita varían de gris claro a oscuro, presentando también tintes rojizos y verdosos. El color de las capas es gris en cortes frescos y de amarillento a parduzco oscuro en afloramientos intemperizados.

Por su posición estratigráfica, que en el área de estudio descansa discordantemente sobre la caliza Cuautla y subyace a la serie basáltica Chichinautzín, se le ha asignado a la Formación Tepoztlán una edad Mioceno-Plioceno.

#### f) FORMACION TLAYECAC.

Este nombre fué propuesto por Carl Fries en 1965 para designar a una unidad litológica de tobas híbridas con fragmentos andesíticos mal clasificados. El cerro del Mirador, al norte del poblado de Tlayecac, y al oriente de Cuautla, fué propuesto como localidad tipo; su espesor aproximado es de 100 m.

Dentro del área de estudio, la Formación Tlayecac aparece como una toba brechoide formada por fragmentos angulosos de ande

sita de color gris, negro y rojizo, empaçados en una matriz arcilloarenosa compacta. Al sureste del Centro Vacacional Oaxtepec, formando lomerios redondeados de pendientes suaves, se encuentran afloramientos de esta unidad.

Por la posición estratigráfica que ocupa se le ha datado a la Formación Tlayecac en la edad del Plioceno.

g) CONGLOMERADOS.

De acuerdo a la Carta Geológica "Cuautla" N° El4B51 de la Secretaría de Programación y Presupuesto fueron localizados, al sureste en la zona de estudio, unos depósitos de clastos continentales producto de la erosión de rocas Terciarias que les antecedieron.

Durante su depósito parece haber habido algunas erupciones volcánicas, ya que en algunos lugares se encuentran intercalados con capas de tobas de espesor delgado.

El color predominante en la unidad es un gris oscuro, pero en algunos lugares muestra tonalidades claras e incluso rojizas; el espesor de las capas se presenta en forma masiva, con fracturamiento escaso e intemperismo somero.

El material clástico es de origen volcánico, predominando los fragmentos basálticos y siguiéndole los andesíticos y las tobas ácidas. Los clastos presentan dimensiones variables en forma predominantemente subredondeada, empaçada en una matriz arenosa

de igual composición que los cláustos. La unidad se encuentra poco cementada y poco compactada.

A esta unidad de conglomerados, de acuerdo a su posición estratigráfica y distribución dentro del área, se le ha fechado hacia el Terciario Superior y principios del Cuaternario.

#### h) GRUPO CHICHINAUTZIN.

Carl Fries en 1960 denominó como Grupo Chichinautzín al conjunto de rocas ígneas constituidas por corrientes lávicas, estratos de tobas, brechas y material clástico intercalado, de composición andesítica y basáltica. Esta constitución litológica ha sido el producto de las efusiones lávicas de la porción sur de la Cuenca del Valle de México; se ha designado como su localidad tipo a la Sierra Chichinautzín situada en los límites del Estado de Morelos y del Distrito Federal, donde forma parte de la ladera meridional de la Faja Transmexicana de Volcánes.

Carl Fries dividió al Grupo Chichinautzín en tres partes: a) conos cónicos, b) domos efusivos, constituidos por efusiones lávicas sin aspecto cinerítico, c) y las interestratificaciones de derrames de lava y capas de ceniza y brecha volcánica.

Hernández y Ramírez en 1982 asignaron el nombre de Formación Chichinautzín a un grupo de rocas formado por derrames basálticos intercalados con pseudoestratos de brecha volcánica basáltica, con mineralización común en plagioclasas y olivino; pre

sentando una textura porfídica y vesicular.

En algunos lugares al Grupo Chichinautzín se le ha reportado descansando en discordancia angular con la Formación Cuerna vaca. También se le ha asignado un espesor variable, teniendo su promedio en los 1200 m. Respecto a su datación se ha ubicado en los pisos correspondientes al Pleistoceno y Reciente.

Los alrededores del Centro Vacacional Otepec, a excepción del afloramiento del Grupo Balsas en el lugar y del material aluvial que se extiende por la zona oeste, están configurados - por la expresión topográfica del Grupo Chichinautzín en su variante de coladas basálticas. Son basaltos de olivino porfídico con microlitos de labradorita y abundantes granos de augita en una - matriz casi holocristalina.

Dentro del área de estudio esta Unidad se presenta como - coladas basálticas interdigitadas con materiales piroclásticos. La textura de los basaltos es porfídica y su estructura vesicular y amigdaloides hacia la parte superior de las coladas.

Superficialmente la Unidad se presenta sumamente fracturada.

#### i) MATERIAL ALUVIAL.

Esta Unidad está constituida por depósitos recientes; lo forman boleas, gravas, arenas y algo de arcilla que son producto de la descomposición de las rocas preexistentes. También se mani

fiestan ciertas tobas, cenizas volcánicas, así como tierras de diatomita y travertino. Ocupan las partes más bajas y planas de la zona, hacia el oeste y suroeste del Centro Vacacional Oaxtepec. El espesor de estos sedimentos es muy variable y, sobre todo, redicido.

#### III.4.- TECTONICA.

La zona de estudio se encuentra ubicada entre los límites geográficos de lo que constituyen los eventos geológicos del Eje Neovolcánico y de la Plataforma Guerrero-Morelos.

En la Plataforma Guerrero-Morelos se desarrollaron los sedimentos marinos del Mesozoico, aflorando al suroeste de la zona de estudio; se encuentran localizados en la mayor parte del Estado de Morelos. Estos sedimentos se encuentran descansando, según C. Fries, sobre un basamento metamórfico precámbrico, representado por el Esquisto Taxco. Los sedimentos mesozoicos sufrieron, - hacia fines del Cretácico y principios del Terciario, las deformaciones compresionales provocadas por la orogénia Laramídica, - dando como resultado la formación de un sistema de pliegues anticlinales y sinclinales. Estas últimas son estructuras que se encuentran orientadas, preferentemente, de norte a sur; posteriormente los pliegues sufrieron fallas con una orientación de norte a sur y de noroeste a sureste.

El proceso provocado por las fuerzas compresionales lo po



demos observar, al suroeste de la zona de estudio, en el anticlinal de Ticumán; siendo su flanco occidental el que se muestra con mayor claridad, pues, tanto el núcleo como el flanco oriental han sido afectados por fallas y fracturas, quedando expuestos a una mayor actividad erosional. Hacia el occidente el anticlinal de Ticumán presenta una falla normal con dirección paralela al eje de la estructura; es una falla que alcanza a afectar los depósitos del Grupo Balsas, lo que permite ubicarla en el Terciario Medio o Superior. Al oriente del anticlinal Ticumán, y ya dentro de la zona de estudio, se ubica el anticlinal de Olin-tepec con una orientación en su eje paralela al de Ticumán; presenta en su extremo sur un combado hacia el este, en esa parte se encuentra el poblado que le dá su nombre. De este anticlinal se puede observar sólo su flanco oriental, pues el occidental se encuentra afectado por la erosión y parcialmente cubierto por los depósitos del Grupo Balsas. Finalmente al oriente del anticlinal de Olin-tepec se observa el sinclinal de Villa de Ayala que se encuentra paralelo a las estructuras anteriores.

Durante el Terciario Inferior, y como efecto posterior a las fuerzas compresionales, ocurrió un intenso fallamiento normal, acompañado de sedimentación clástica continental sobre las partes bajas de la nueva topografía. A estos depósitos siguieron importantes emisiones volcánicas que dieron lugar a las Formaciones Tilzapotla y Tepoztlán.

Durante el Terciario Superior y Cuaternario la región se

caracteriza por la actividad volcánica del Eje Neovolcánico y - por el desarrollo de fosas tectónicas, que en el suroeste de la zona de estudio dan lugar a los depósitos continentales de la - Formación Cuernavaca.

El origen del Eje Neovolcánico ha sido relacionado principalmente a la subducción de la Placa de Cocos, debajo de la corteza continental de la República Mexicana; es al nivel de la astenósfera donde la Placa sufre fusión parcial y origina los magmas que dieron lugar a la formación del Eje. Incluso Mosser considera que la actividad del Eje Neovolcánico, que se inició en - el Oligoceno, continua hasta el Reciente. Considera que las primeras manifestaciones volcánicas, en el Oligoceno, se encontraban asociadas a fracturas de orientación noreste-suroeste; en - tanto que los eventos volcánicos del Pleistoceno y el Cuaternario parecen estar relacionados con fracturas de orientación este-oeste, como en el caso de la Sierra Chichinautzín.

Mosser considera que el Eje Neovolcánico tiene un arreglo zigzageante provocado por la presencia de un sistema fundamental de fragmentación ortogonal con dirección noroeste y noreste en - las fracturas. Las de orientación noreste están relacionadas con movimientos transcurrentes, principalmente en el oriente y en el centro. Demant, sin embargo, considera que el Eje Neovolcánico - más que formar una banda continua de rocas volcánicas, constituye un grupo de cinco focos principales de actividad con orientación y características distintas. Dentro de estos cinco focos -

principales se pueden reconocer dos tipos de estructuras volcánicas: aquellas representadas por grandes estratovolcanes en alineaciones norte-sur; y las que están representadas por numerosos volcanes pequeños alineados en sentido noreste-suroeste, desarrollados sobre fracturas de tensión. Demant considera que el vulcanismo del Eje es únicamente Plioceno-Cuaternario. Y considera que el ciclo inferior del Oligoceno-Mioceno constituye la prolongación meridional del sistema volcánico Sierra Madre Occidental.

En la zona de estudio, afectando a las rocas ígneas, se observa una gran cantidad de fracturas; su orientación es noreste-suroeste y norte-sur y predominan en las rocas basálticas de la Sierra Chichinautzín; se cree que han sido provocadas por el enfriamiento y por el proceso emergente de los focos volcánicos. De una manera más particular, las fracturas con orientación noroeste-sureste, predominan en las andesitas y riolitas del Oligoceno-Mioceno de las Formaciones Tilzapotla y Tepoztlán.

### III.5.- GEOLOGIA HISTORICA.

La Historia Geológica expuesta en la zona de estudio nos transporta hacia el periodo Albiano, cuando fueron depositados los sedimentos de la Formación Morelos. Una transgresión marina sobre la región sur de México explican los horizontes laminares de anhidrita y yeso detectados en la base de la Formación Morelos. Posteriormente en forma discordante sobreyace la Formación

Cuautla. Este hecho, históricamente, permite señalar un periodo de hiatus (ausencia de depósitos) entre las dos formaciones. En base a datos paleontológicos, Carl Fries (1956), señala la falta de capas representativas de casi todo el Cenomaniano y principios del Turoniano. Los sedimentos de la Formación Cuautla y de la Formación Morelos fueron depositados en un medio ambiente nerítico de aguas tranquilas y cálidas; así lo sugiere la observación de microfósiles, que incluso llegan a formar zonas arrecifales, sobre todo en lo que respecta a la Formación Cuautla.

Posteriormente a la litología de la Formación Cuautla se añaden depósitos de material clástico provenientes del continente como producto de deformaciones y levantamientos. La litificación de esos clastos, sobre todo arcillas y arenas, constituyen las lutitas y areniscas de la Formación Mezcala. Son depósitos acaecidos desde finales del Turoniano hasta principios del Campaniano.

Durante el Maestrichtiano (fines del Cretácico, y hasta el Eoceno en el Terciario Inferior), la zona sufre un levantamiento, viéndose afectada por esfuerzos tectónicos y procesos erosivos como primeros movimientos de la orogénia Larámide. Este evento dió origen a los plegamientos estructurales que se localizan al suroeste de la zona de estudio, afectando sobre todo a las rocas marinas del Cretácico.

Tal evento tectónico, la intensa erosión de las cimas de los anticlinales y el desagüe endorreico de la región, provocó -

una gran acumulación de clastos de tamaños variables. Estos clastos litológicamente dan lugar a conglomerados, areniscas, lutitas e incluso calizas y yesos. Composición litológica, que junto con los sedimentos volcánicos petrificados (tobas y corrientes - lávicas) producto de la actividad ígnea contemporánea al evento orogénico, constituyen los depósitos del Grupo Balsas.

A principios del Oligoceno sobrevino una época de gran - vulcanismo de tipo riolítico, no hubo grandes movimientos tectónicos sino unicamente fracturas de tensión que permitieron la - manifestación ígnea de tobas, brechas e ignimbritas de la Formación Tilzapotla.

El vulcanismo continuó durante el Mioceno con erupciones principalmente de tipo andesítico. Vestigios de esas emanaciones volcánicas son las andesitas que contiene la Formación Tepoztlán.

Durante el Plioceno y Pleistoceno el vulcanismo provoca - la acumulación de clastos de composición andesítica y basáltica empacados en material sedimentario e incluso tobaceo. El resultado de estos depósitos constituyen los conglomerados y tobas híbridas de la Formación Tlayecac.

Durante el Pleistoceno, debido al desarrollo de fallas - profundas, se manifestaron derrames basálticos asociados a volcanes cineríticos, dando lugar al vulcanismo piroclástico de la región y, cerrando la comunicación con el actual Valle de México. Este vulcanismo basáltico, formando parte del Eje Neovolcánico, constituye la litología del Grupo Chichinautzín.

Finalmente, durante fines del Pleistoceno y durante el Re  
ciente, la cuenca donde se estuvo depositando la Formación Cuen-  
navaca, al oeste de la zona de estudio, fué abierta hacia el sur  
por el río Amacuzac, iniciandose así, un periodo de erosión que -  
continua hasta nuestros días. Los suelos residuales y aluviales  
que se observan al suroeste del Centro Vacacional Oaxtepec son -  
producto de este último proceso.

## CAPITULO CUARTO

## PROSPECCION GEOFISICA

Con la finalidad de definir las características resistivas de los distintos horizontes geoelectricos, sus espesores y su correlación con la geología del área, en la zona de la meseta del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec, se realizó un estudio de prospección geofísica. El presente capítulo pretende dar una explicación de las bases teóricas que sustentan dicho estudio y de la forma en que se procedió, así como los resultados a los que se llegó.

## IV.1.- FUNDAMENTOS TEORICOS.

En las últimas décadas la geofísica aplicada ha venido jugando un papel importante en los estudios geohidrológicos; teniendo particular trascendencia el Método de Resistividad Eléctrica en la resolución de estos problemas.

En general, la geofísica es la ciencia que permite relacionar distintos parámetros físicos de las rocas que se han manifestado o no en la geología superficial. Tales estudios ratifican las hipótesis geológicas sobre la constitución y estructura de las rocas en el subsuelo, de una manera cualitativa, no cuantitativa.

En particular, en México, el método resistivo es el procedimiento técnico de mayor aplicación en las investigaciones geohidrológicas.

A continuación, a grandes rasgos se hace una descripción de los principios físicos del método resistivo:

La resistividad ( $\rho$ ), o su inversa, la conductividad ( $\sigma$ ) es una de las propiedades electromagnéticas de las rocas. Estas propiedades, junto con la dieléctrica ( $\epsilon$ ) y la permeabilidad magnética ( $\mu$ ), constituyen el campo de investigación de los métodos geoelectrónicos.

Los fundamentos analíticos para el estudio de la resistividad se basan en la ley de Ohm: "La corriente eléctrica ( $I$ ) - que pasa por un cuerpo es directamente proporcional a la caída de potencial ( $V$ ) en algún punto del mismo, e inversamente proporcional a la resistencia ( $R$ ) que se opone al paso de dicha corriente".

$$I = \frac{V}{R}$$

Se sabe si una corriente eléctrica uniforme fluye a través de un cilindro de composición homogénea en dirección de su eje, la resistencia eléctrica que presenta se manifiesta directamente proporcional a su longitud ( $L$ ) e inversamente proporcional a su sección transversal; por lo cual, la resistencia eléctrica que se mida será igual a:



$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Donde:

$\rho$ .- Es la resistencia específica o resistividad del material que constituye al cuerpo en cuestión.

L.- Es la longitud del cilindro.

A.- Es la sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente.

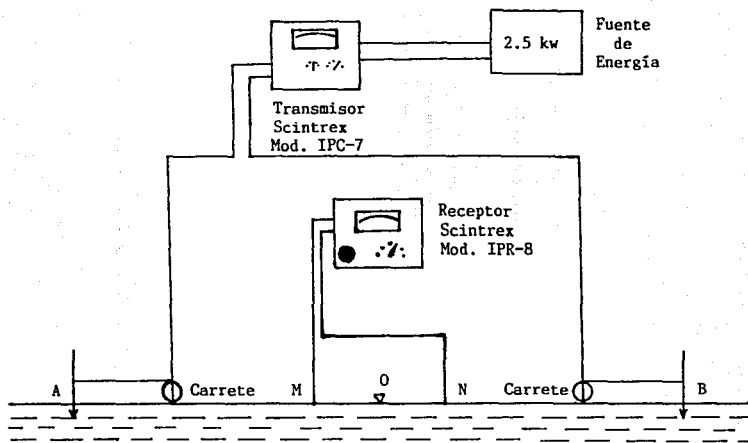
El sondeo eléctrico vertical (SEV) es una de las variantes de los métodos eléctricos, obteniéndose con su aplicación la respuesta de las rocas y materiales del subsuelo a los estímulos eléctricos enviados desde la superficie del terreno.

Mediante dos electrodos llamados de emisión (A y B), se introduce una cierta intensidad de corriente ( I ) en el terreno, y con otros dos electrodos (M y N) llamados de recepción, se obtiene la respuesta al campo eléctrico potencial creado por los primeros (medición de la diferencia de potencial eléctrico  $\Delta V$ ).

Al realizar un sondeo eléctrico vertical se guarda una relación en la distribución y espaciamiento de los electrodos, dependiendo de lo que se espera encontrar en el subsuelo y de la profundidad que se pretende investigar.

La figura IV.1 muestra un equipo de resistividad de corri

EQUIPO DE RESISTIVIDAD DE CORRIENTE CONTINUA.  
( Arreglo de electrodos tipo Schlumberger )



A y B Electrodo de corriente ; M y N Electrodo de potencial



Punto de investigación

ente continua y arreglo electródico tipo Schlumberger, que es el más usado en las investigaciones geoelectricas con fines hidrogeológicos.

Del análisis teórico de las investigaciones geofísicas realizadas con el arreglo Schlumberger, resulta que el cálculo de la resistividad eléctrica de las rocas en cada medición se expresa por la ecuación:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

$\rho_a$ .- Es la resistividad aparente expresada en ohms-metro ( $\Omega\text{-m}$ ).

$\Delta V$ .- Es la diferencia de potencial leída en los electrodos M N y se expresa en mili voltios.

I.- Es la intensidad de corriente inyectada por A B y expresada en miliamperios.

K.- Es una constante que depende del arreglo de electrodos utilizado; se mide en metros y para el caso es igual a:

$$K = \pi \cdot \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

Las variaciones de resistividad aparente ( $\rho_a$ ), en fun-

ción de la distancia electródica  $\frac{AB}{2}$  nos permite investigar verticalmente el subsuelo bajo el punto central del arreglo, que permanece fijo durante el desarrollo del sondeo eléctrico. La curva de resistividad aparente obtenida en campo es graficada en hojas de papel bilogarítmico, a un ciclo logarítmico especial, para ser sobrepuestas y comparadas con familias de curvas teóricas. La combinación de este procedimiento con la técnica del "punto auxiliar" conduce a la determinación de un modelo geoelectrico estratigráfico para cada curva de ( $\rho_a$ ), definido por los parámetros de espesor y resistividad de las capas.

La calidad del modelo obtenido es verificada y precisada con un programa de computadora (o "neillgra 82) que calcula la curva de resistividad aparente a partir de un filtro matemático con la función del modelo de resistividad; permitiendo con ello mejorar los resultados hasta alcanzar el óptimo ajuste de la curva de campo, para lo cual pueden tolerarse divergencias no mayores al 10%.

Las secciones de los modelos geoelectricos se correlacionan considerando tanto la geología disponible como los datos de pozos cercanos y estudios anteriores de la zona.

#### IV.2.- METODO DE INVESTIGACION.

El procedimiento consistió en: Un conocimiento previo de las características geológicas de la zona, condición básica del

trabajo; la determinación del área y los lugares en que se realizarían los sondeos eléctricos verticales; la medición de resistividad eléctrica en cada sondeo y el procesamiento de datos con interpretación de resultados.

Las mediciones de resistividad aparente se obtuvieron mediante siete Sondeos Eléctricos Verticales (gráficas IV.1 a IV.7 al final del escrito), utilizando el dispositivo electródico tipo Schlumberger. El equipo geoelectrico empleado consistió en un Trasmisor "Geoelec" y un Receptor marca "Fluke"; así como electrodos impolarizables ( MN ), electrodos metálicos ( AB ) y carretes marca Scintrex con 1000 m de cable cada uno; también se contó con aparatos telefónicos para la debida comunicación entre el operador en el punto central del sondeo y los auxiliares en los electrodos de emisión ( AB ).

Al final del capítulo se puede ver la figura IV.2 en la que se muestra la localización de los Sondeos Eléctricos Verticales.

Para llegar a definir claramente las condiciones geohidrológicas, favorables o no, en la zona de la meseta del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec, en gabinete se llevó a cabo el proceso, interpretación y análisis de cada Sondeo Eléctrico Vertical. Los datos de resistividad real y el espesor de cada Sondeo Eléctrico Vertical definen la estructura geoelectrica subterránea que al ser correlacionada con la geología local da como resultado la determinación de los distintos horizontes y unidades

geohidrológicas del subsuelo, así como la de las posibilidades - productoras de agua.

#### IV.3.- RESULTADOS.

Se obtuvieron dos secciones geoelectricas: la sección AA' y la sección B. El sondeo N° 1 fué un sondeo eléctrico vertical analógico que permitió obtener la sección B donde se suministra la información "geofísica" del pozo ya existente. Posteriormente la información permitió calibrar el resto de los resultados obtenidos (S.E.V. 2 al 7) dando lugar a la sección AA'.

Con lo anterior podemos observar el porqué de algunos contactos; los cuales coinciden con las zonas de fracturas de mayor tamaño.

En la sección AA' se puede observar, bajo los S.E.V. 4 y 7, un primer paquete geoelectrico con resistividades que varían dentro de un rango de 17 ohm-m a los 21 ohm-m; presentando un espesor promedio de 7 m y constituido por el material de suelos y rellenos.

Bajo la anterior unidad se detecta una segunda con un espesor promedio de 8 m. Esta segunda unidad aflora en los S.E.V. 6, 3, 5 y 2 y está constituida por basaltos fracturados; las resistividades que se registraron para esta unidad oscilan entre - los 100 ohm-m y los 150 ohm-m.

Una tercera unidad se encuentra registrada bajo los S.E.V.

7 y 4 con resistividades que oscilan entre los 29 ohm-m y los - 40 ohm-m. Se considera que esta unidad está compuesta por tobas y con un espesor de 7 m.

Un cuarto paquete geoelectrico es también registrado bajo los S.E.V. 7 y 4 que se correlaciona con el segundo paquete geoelectrico ubicado bajo los S.E.V. 6, 3, 5 y 2. Se le considera - compuesto de basalto poco fracturado; su resistividad oscila entre los 102 ohm-m y los 400 ohm-m.

Subyaciendo a la anterior unidad geoelectrica se detectó un quinto paquete litológico que se correlaciona con todo el perfil de la sección AA'. La resistividad de esta unidad oscila entre los 17 ohm-m y los 32 ohm-m; se le considera compuesto por - basalto fracturado con posibles intercalaciones tobáceas. Este - paquete tiene un espesor promedio de 50 m.

Finalmente, se localizó un horizonte resistivo más profundo, en los S.E.V. 7 y 2 a una profundidad promedio de 100 m y en los S.E.V. 4, 6, 3 y 5 a los 90 m, que presenta una resistividad oscilante entre los 800 ohm-m y los 1600 ohm-m. A esta unidad se le ha correlacionado con tobas y yesos.

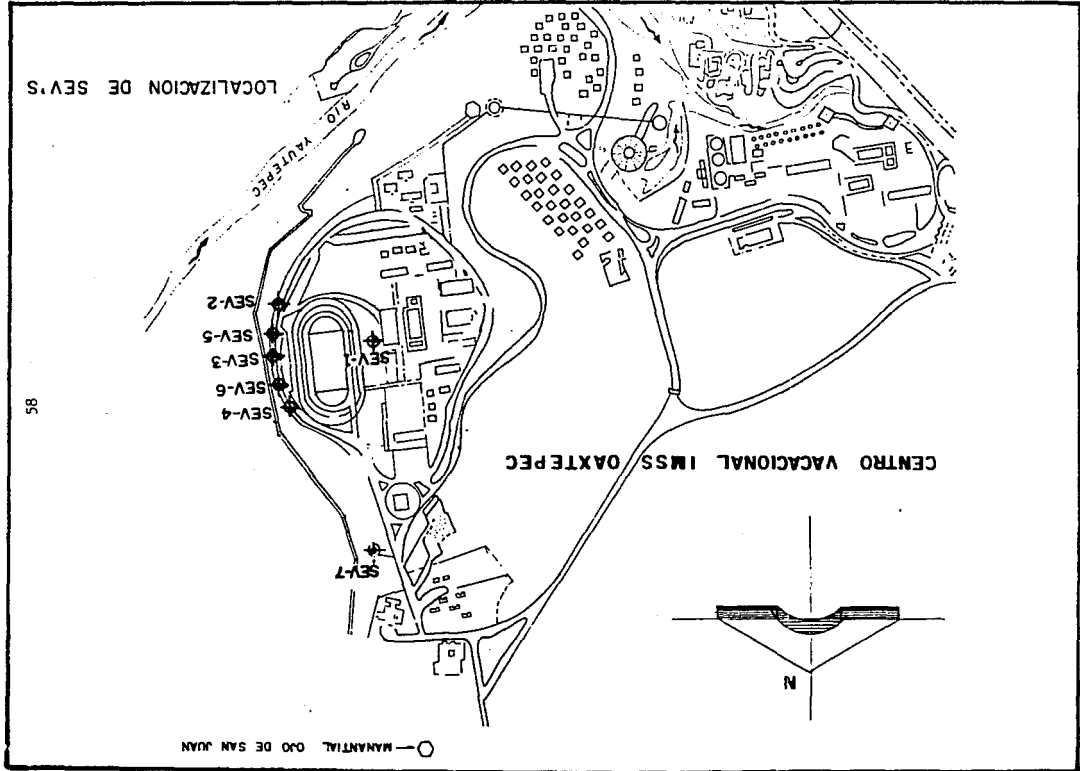
#### IV.4.- CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS.

Los resultados comparativos de los estudios geofísicos se presentan en base al S.E.V. N° 1, realizado en el pozo testigo, y a los estudios geológicos de la zona.

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS

POSIBLE LITOLOGIA	RANGO DE RESISTIVIDAD (ohm-m)		S.E.V.	POSIBILIDADES ACUIFERAS
	S.E.V. 1	S.E.V. 2 al 7		
Suelos y relle- nos.	42	17-21	4 y 7	Bajas
Basalto o roca alterada.	90	100-155	2 al 7	Bajas
Basalto poco fracturado.	—	102-400	2 al 7	Medias
Basalto fractu- rado con inter- calaciones tobá- ceas.	3 - 15	17-32	2, 4 y 7	Medias a Altas
Tobas y Yesos	1600	800-1600	2 al 7	Bajas





LOCALIZACION DE SEV'S

85

○ — MANANTIAL OJO DE SAN JUAN

## CAPITULO QUINTO

## GEOHIDROLOGIA

En el presente capítulo se puede observar como, mediante la observación del comportamiento que el agua subterránea presenta dentro de las diferentes unidades litológicas descritas, por los efectos de los niveles piezométricos que se encontraron en la zona, y por el aporte físico-químico de las unidades litológicas al agua que circula por entre ellas, fué posible determinar el funcionamiento del acuífero.

## V.1.- UNIDADES GEOHIDROLOGICAS.

A continuación, en base a las apreciaciones de campo, se hace una clasificación de las posibilidades hidrológicas de las diferentes unidades litológicas que afloran en la región estudiada.

## I.- UNIDADES IMPERMEABLES.

## a) FORMACION TLAYECAC.

Se manifiesta como una brecha de cláston andesíticos, empaquetados en una matriz tobácea compacta. Al sur, fuera de la re-

gión estudiada, en el Valle de Cuautla, la Formación Tlayecac actúa como una barrera impermeable permitiendo que el agua subterránea, que circula de norte a sur por entre los sedimentos granulares permeables, surja a la superficie en forma de manantiales.

## II.- UNIDADES SEMIPERMEABLES.

### a) FORMACION MORELOS.

Constituida por estratos de calizas bien compactas que permite considerar a esta formación como impermeable, aunque la presencia de algunas fracturas, su posición topográfica, y su manifestación en forma de estructuras plegadas nos permite considerarla como una zona de recarga de los valles que ocupan las zonas bajas.

### b) FORMACION CUAUTLA.

Se encuentra constituida por calizas de estratificación media, bien compactas. Su fracturamiento y sensibilidad a la erosión es mayor que la de la Formación Morelos. Por el fracturamiento que presenta se infiltra el agua de lluvia, lo que permite considerarla con una karsticidad incipiente.

## c) GRUPO BALSAS.

Dada la gran variedad litológica que constituye a este grupo, se puede hablar de un comportamiento geohidrológico variable en él. Los conglomerados calcáreos presentan una permeabilidad ocasional causada principalmente por disolución. Sin embargo, en los alrededores del Centro Vacacional Oaxtepec, hay una litología constituida por limolitas y areniscas de grano fino alternando con capas de yesos, lo que geohidrológicamente, a nivel local, le dá un carácter de unidad impermeable; adicionalmente el contenido de rocas evaporíticas, susceptibles de disolución, contaminan las aguas que brotan en el manantial de la Cúpula del Centro Vacacional.

## d) FORMACION TEPOZTLAN.

Compuesta indistintamente por rocas tobáceas e intercalaciones de brecha volcánica de composición andesítica, cementadas por arenas, limos y lodos, permite por su composición litológica una clasificación geohidrológica de impermeable. Aunque el alto grado de fracturamiento y erosión permite considerarla como semi permeable; siendo así una roca de mediana o escasa trasmisibilidad.

## e) CONGLOMERADOS.

Esta unidad, formada por fragmentos de tamaño variable como: boleos, guijarros, gravas y arenas empacados casi sin compactación en material arcilloso, nos permite por su litología clasificarla geohidrológicamente como permeable. Incluso, en la zona, podría funcionar como una unidad de recarga y ocasionalmente como acuífero; pero en algunas partes del área esta unidad manifiesta, en sus partes inferiores, una mayor compactación, ocasionando un cambio en su funcionamiento geohidrológico a condiciones de impermeabilidad.

## III.- UNIDADES PERMEABLES.

## a) GRUPO CHICHINAUTZIN.

La unidad está constituida principalmente por derrames basálticos y por materiales piroclásticos, donde el alto grado de fracturamiento y los espacios generados por cada colada volcánica permite el flujo y el emplazamiento del acuífero. La mayoría de pozos y manantiales que se encuentran en los alrededores del Centro Vacacional Oaxtepec, sobre todo al norte y al este, son un testimonio del emplazamiento del acuífero en las rocas del Grupo Chichinautzín. Geohidrológicamente el contacto entre coladas y la comunicación entre fracturas sirve de conducto para el

emplazamiento de los acuíferos. Las grandes extensiones de coladas basálticas, en la región topográficamente alta, actúan como zona de recarga; y las zonas bajas en los alrededores del Centro Vacacional y la margen derecha del río Yautepec funcionan como unidades susceptibles de almacenar agua subterránea.

b) ALUVIONES.

Esta unidad se encuentra formada por depósitos recientes de boleos, gravas, arenas, limos y arcillas, obviamente sin compactación, de porosidad media a alta; siendo también un área de recarga.

CUADRO COMPARATIVO DE UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS.

A continuación, y basándonos en las características anteriormente descritas, se presenta un cuadro comparativo de las unidades geohidrológicas presentes en la zona de estudio.

CUADRO COMPARATIVO DE UNIDADES GEOHIDROLOGICAS

FORMACION GEOLOGICA	TIPO DE ROCA	UNIDAD GEOHIDROLOGICA	POSIBILIDADES ACUIFERAS
Aluviones	Gravas, arenas, arcillas, limos.	Permeable	Buenas
G. Chichinautzin	Basalto y brecha volcánica.	Permeable	Buenas
Conglomerado	Boleos, gravas y arenas.	Permeable	Buenas
F. Tlayecac	Tobas y brechas andesíticas.	Impermeable	Malas
F. Tepoztlán	Tobas y brechas andesíticas.	Semipermeable	Regulares y Malas.
Grupo Balsas	Areniscas, limolitas y yesos.	Impermeable	Malas
F. Mezcala	Areniscas y lutitas calcareas.	Impermeable	Malas
F. Cuautla	Calizas.	Semipermeable	Regulares
F. Morelos	Calizas.	Semipermeable	Regulares y Malas

## CENSO DE APROVECHAMIENTOS

TABLA V.1

Nº	NOMBRE	N.E.	N.D.	PROFUNDIDAD	BROCAL	CAUDAL
1	TLAYACAPAN	-	-	--	--	--
2	TLAYACAPAN	33 m	-	180 m	1597.0 m	--
3	TLAYACAPAN	-	-	--	--	--
4	--	-	-	--	--	--
5	JARDINES DE OAX- TEPEC.	-	-	--	--	--
6	--	-	-	--	--	--
7	STA. ROSA	60 m	-	160 m	1462.0 m	20 lts/s
8	MPIO. OAXTEPEC	-	32 m	102 m	1440.0 m	3 lts/s
9	F. EL VERGEL	50 m	-	75 m	1455.0 m	15 lts/s
10	F. COCOYOC	36 m	41 m	76 m	1453.0 m	60 lts/s
11	F. COCOYOC	56 m	77 m	100 m	1439.0 m	30 lts/s
12	F. COCOYOC	22 m	60 m	130 m	1430.0 m	5 lts/s
13	F. PEDREGALES DE OAXTEPEC.	43 m	-	80 m	1440.0 m	17 lts/s
14	F. LOS ALTOS DE OAXTEPEC	69 m	-	130 m	1420.0 m	16 lts/s
15*	CANTARITOS	0 m	-	AFLORA	1377.2 m	90 lts/s



16*	SAN JUAN	0 m	-	AFLORA	1381.9 m	59 lts/s
17*	EL CONEJO	0 m	-	AFLORA	1344.9 m	15 lts/s
18*	LA CUPULA	0 m	-	AFLORA	1300.0 m	284 lts/s
19*	TEPOZTECO	0 m	-	AFLORA	1342.0 m	15 lts/s
20	ESTADIO	24 m	80 m	100 m	1363.9 m	12 lts/s
21*	POZA AZUL	0 m	-	AFLORA	1360.0 m	72 lts/s
22	LOS AMATES 1	28 m	-	--	1320.0 m	2 lts/s
23*	EJ. TLAYACAPAN	0 m	-	AFLORA	1300.0 m	15 lts/s
24*	AHUILICAN	0 m	-	AFLORA	1288.0 m	132 lts/s
25	EJ. OAXTEPEC	18 m	-	159 m	1309.7 m	12 lts/s
26	EJ. COCOYOC	-	-	--	1333.1 m	26 lts/s
27	EJ. COCOYOC	-	-	--	1326.8 m	30 lts/s
28	EJ. TLAYACAPAN	-	-	--	---	36 lts/s
29*	EL BEBEDERO	0 m	-	AFLORA	1300.0 m	10 lts/s
30	INGENIO OACALCO	20 m	-	118 m	1283.5 m	---
31	INGENIO OACALCO	33 m	-	180 m	1299.7	---
32	INGENIO OACALCO	5 m	-	36 m	1262.5 m	56 lts/s
33	INGENIO OACALCO	12 m	28 m	76 m	1270.0	73 lts/s
34	INGENIO OACALCO	16 m	-	117 m	1270.3 m	83 lts/s
35*	EJ. OACALCO	0 m	-	AFLORA	1250.0 m	132 lts/s
36	EJ. OACALCO	-	-	88 m	1281.4 m	---
37*	EJ. ITZMATITLAN	0 m	-	AFLORA	1266.0 m	100 lts/s

38	EJ. ITZMATITLAN	22 m	23 m	98 m	1267.8 m	80 lts/s
39	EJ. ITZMATITLAN	19 m	-	120 m	1265.7 m	18 lts/s
40*	EL BOSQUE	0 m		AFLORA	1340.0 m	930 lts/s

## V.2.- PIEZOMETRIA.

Con la medida de las profundidades del agua en los aprovechamientos (Ver TABLA V.1), y con la ayuda de los niveles topográficos así como de los datos de brocales proporcionados por TAGSA y la SARH, se obtuvo la elevación de su nivel respecto al nivel medio del mar; permitiendonos así mismo configurar las líneas de igual elevación del nivel piezométrico (Ver PLANO V.1), para así conocer de manera cualitativa las características hidráulicas del acuífero: áreas de recarga y descarga, así como la dirección del movimiento subterráneo del agua.

### I.- PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO.

Con los datos de la TABLA V.1 podemos delimitar tres zonas de diverso comportamiento respecto a las profundidades del nivel estático:

a) La primera zona se ubica al noreste del Centro Vacacional Oaxtepec, en el área de los fraccionamientos, donde las profundidades son muy variables: de los 20 m a los 69 m.

Las variaciones en la profundidad del nivel estático se adjudican a anomalías que, posiblemente, se deban a condiciones estratigráficas y estructurales de la época en que fueron emplazadas las rocas volcánicas y a condiciones de sobreexplotación en la extracción del agua subterránea.

b) Una segunda zona, principalmente localizada en los alrededores y en el propio Centro Vacacional Oaxtepec, está constituida por los cortes que el agua subterránea hace a la superficie del terreno. Son manantiales que en su mayoría tienden a manifestarse hacia las márgenes del río Yautepec; donde los manantiales de la zona de la meseta (Cantaritos, Ojo de San Juan, El Bosque, etc.) lo hacen a una elevación del nivel estático de 1350 m.s.n.m.

c) En la parte occidental de la zona de estudio se ubica la tercera zona, que a su vez dividimos en dos: una hacia la margen derecha del río Yautepec, con profundidades del nivel estático entre los 0 m y los 30 m, y la otra subzona se encuentra hacia la margen izquierda del río y con profundidades entre los 0 m y los 20 m. Correspondiendo las profundidades más pequeñas a los aprovechamientos que se localizan cerca del cauce del río, a ambos extremos.

## II.- ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO.

En el PLANO V.1 se puede observar que las curvas de igual elevación del nivel estático varían de 1600 m.s.n.m., en la porción nororiental de la zona de estudio, a 1250 m.s.n.m., en la porción occidental. a los 1350 m.s.n.m. se manifiestan los manantiales de la meseta de Oaxtepec, mientras que en el manantial de La Cúpula, dentro del Centro Vacacional Oaxtepec y con aguas más

sulfurosas, se manifiesta a los 1300 m.s.n.m.

Es importante resaltar que las elevaciones del nivel estático de los pozos 11 y 14, pertenecientes a fraccionamientos ubicados al noreste del poblado de Oaxtepec, se presentan a los 1380 m.s.n.m. y a los 1350 m.s.n.m. respectivamente, una ubicada entre los 1500 m.s.n.m. y los 1400 m.s.n.m., y la otra ubicada entre los 1400 m.s.n.m. y los 1350 m.s.n.m. Las elevaciones del nivel estático de los pozos 11 y 14 sugieren anomalías que consisten en la formación de conos de depresión de los niveles estáticos, posiblemente debidos al efecto combinado de la extracción del agua subterránea y las condiciones estructurales del subsuelo en esa zona. Además la disminución del caudal de descarga en los manantiales de la zona de la meseta (Cantaritos, Ojo de San Juan) probablemente se deba a que el flujo del acuífero circule hacia la zona de captación del abastecimiento de agua potable de los pozos 11 y 14.

La disposición de las curvas de igual elevación del nivel estático (PLANO V.1) manifiestan que: la dirección y movimiento del agua subterránea ocurre de la parte nororiental a la parte occidental de la zona de estudio; la recarga del acuífero se origina en la porción noreste, donde las profundidades del nivel estático son mayores; la descarga natural del acuífero sucede hacia las márgenes del río Yautepec.

### III.- RECARGA Y DESCARGA.

La principal fuente de recarga corresponde a la precipitación pluvial que ocurre al noreste de la zona de estudio, en un área que se extiende desde la ladera suroccidental del Volcán - Popocatepetl hasta la zona de manantiales en los alrededores del poblado de Oaxtepec. El acuífero es alimentado de dos maneras: - una, como decíamos anteriormente, por la infiltración de la lluvia a través de las fracturas en el basalto de la Formación Chichinautzín; la otra por la lluvia y el deshielo que se infiltra, estructuralmente, a través de las fallas y fracturas que abundan en la parte alta de la cuenca, hacia la zona de aparatos volcánicos.

Como se ha venido expresando con anterioridad, la principal fuente de descarga la constituyen los manantiales que se extienden por el cauce del río Yautepec, sobre todo en la zona de la meseta. De hecho el río Yautepec como tal, con aguas perennes, nace en el manantial de Poza Azul. Es una zona en que el nivel - piezométrico del acuífero corta la superficie del terreno.

Otra vía importante de descarga del acuífero es la extracción de agua hecha por el bombeo de pozos, localizados en diferentes partes del área de estudio y enfocada hacia diversos usos: urbano, agrícola e industrial.

Por carencia de datos en pruebas de bombeo no se ha podido determinar un mejor comportamiento del acuífero; pero cabe -

hacer notar que para el acuífero de la zona, en donde existen de presiones piezométricas debidas a una sobreexplotación, el volumen de almacenamiento se ve mermado. De ésta manera, en la medida que las descargas por extracción sean mayores, se presenta una disminución en la descarga realizada a través de los manantiales, haciendose más notorio en periodos de estiaje y en el manantial de Ojo de San Juan.

### V.3.- HIDROGEOQUIMICA.

Por parecernos de interés, dada la diversa composición química del agua subterránea, y por ayudarnos a corroborar tanto las áreas de recarga y descarga como la dirección predominante del flujo de las aguas subterráneas, se ha integrado en este trabajo un estudio que la compañía TAGSA realizó para el Instituto Mexicano del Seguro Social con el objeto de conocer la calidad del agua en la zona y la relación que existe entre ésta y las formaciones geológicas por las que circula. Los análisis de laboratorio fueron realizados por el propio Instituto Mexicano del Seguro Social según las muestras recolectadas en las aguas de pozos y manantiales.

El análisis fisico-químico practicado en las muestras (TABLA V.2) determinó: su potencial de hidrógeno (PH); conductividad eléctrica (CE); contenido de sólidos totales disueltos (STD); contenido de cationes: sodio (Na), potasio (K), calcio -

## ANALISIS QUIMICO

TABLA V.2

APROVECHAMIENTO	P.H.	Na	%	K	%	Ca	%
9	6.5	35.00	14.2	-	0	22.0	8.9
15	7.2	14.49	8.9	3.51	2.1	12.0	7.4
16	6.4	30.00	15.3	-	0	16.0	8.2
17	8.1	13.11	7.8	3.51	2.1	12.0	7.2
18	7.9	105.11	5.9	10.14	0.5	266.0	15.0
20	7.0	112.00	10.4	-	0	302.0	28.2
21	8.2	14.95	6.6	3.12	1.4	20.0	8.9
24	8.2	13.80	6.6	4.29	2.0	16.0	7.7
26	8.5	32.89	6.4	3.90	0.7	36.0	7.0
27	8.4	23.69	4.9	3.90	0.8	30.0	6.3
35	8.1	19.09	4.3	3.90	0.8	54.0	12.3
37	7.9	42.55	3.0	5.07	0.3	220.0	15.5
38	8.0	49.22	4.1	5.07	0.4	170.0	14.3



APROVECHAMIENTO	Mg	%	NO <sub>3</sub>	%	HCO <sub>3</sub>	%
9	8.00	3.2	-	0	115.0	46.9
15	11.64	7.2	-	0	61.0	37.7
16	52.00	26.5	-	0	82.0	41.8
17	12.00	7.2	-	0	91.5	54.8
18	133.20	7.5	2.48	0.1	274.5	15.5
20	122.00	11.4	-	0	264.0	24.6
21	15.84	7.0	-	0	122.0	54.4
24	15.84	7.6	-	0	122.0	59.0
26	45.00	8.8	-	0	274.5	53.7
27	46.56	9.8	-	0	274.5	57.7
35	35.64	8.1	-	0	152.5	34.7
37	121.56	8.5	-	0	183.0	12.8
38	112.08	9.4	2.48	0.2	213.5	18.0

APROVECHAMIENTO	Cl	%	SO <sub>4</sub>	%	S.T.D.
9	5.00	2.0	60.00	24.4	245.00
15	7.10	4.4	51.84	32.0	161.58
16	4.00	2.0	12.00	6.1	196.00
17	3.55	2.1	31.20	18.7	166.87
18	578.65	32.8	396.00	22.4	1766.08
20	16.00	1.5	256.00	23.9	1072.00
21	7.10	3.1	41.28	18.4	224.29
24	3.55	1.7	31.20	15.1	206.68
26	14.20	2.8	104.16	20.4	510.65
27	3.55	0.7	93.60	19.7	475.80
35	49.70	11.3	124.80	28.4	439.63
37	266.25	18.7	584.16	41.0	1422.59
38	319.50	26.9	312.96	26.4	1184.80

NOTA: LOS VALORES ESTAN DADOS EN Mg/l y LOS PORCENTAJES ESTAN DADOS RESPECTO A LOS SOLIDOS  
 TOTALES DISUELTOS EN CADA APROVECHAMIENTO

(Ca) y magnesio (Mg); contenido de aniones: carbonatos ( $\text{CO}_3$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y cloruros (Cl).

La composición química de los manantiales que brotan en la zona de Oaxtepec es variable. Por un lado, los manantiales de la zona de la meseta: Cantaritos, Ojo de San Juan, El Bosque, etc., tienen una determinada composición química; y por otro lado, el manantial de La Cúpula, dentro del Centro Vacacional I.M. S.S. Oaxtepec, tiene otra. Por ello, la diversidad en la composición química del agua reviste interés para un mejor conocimiento de las características del agua subterránea y de su funcionamiento hidráulico.

Mediante una interpretación correcta de los análisis químicos practicados en las muestras de agua, y el conocimiento geológico de la zona, es posible determinar la composición litológica por la que el agua subterránea ha circulado, y por tanto la unidad geológica en la que se encuentra emplazado el acuífero.

a).- SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS.

La cantidad de sólidos totales disueltos es la medida más representativa de la salinidad del agua y corresponde al índice que mayor auxilio presta a la interpretación hidrogeoquímica, ya que a partir de su conocimiento y distribución es posible determinar las zonas de recarga y la dirección del flujo del agua subterránea, así como tener idea de la solubilidad de las rocas a -

través de las cuales circula y de la permeabilidad del terreno.

En la TABLA V.2 se presentan los valores de los sólidos - totales disueltos obtenidos en los análisis de laboratorio, y en el PLANO V.2 aparecen esos valores configurando curvas de igual concentración. En el plano podemos observar que en la porción - nororiental se registran las concentraciones más bajas, con valores menores a 200 mg/l y corresponden a los manantiales de la zona de la meseta; la concentración de sales en el agua se ve fuertamente incrementada, hasta 1700 mg/l, en el manantial de La Cú-pula del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec; indicando que el - agua tiene contacto con rocas evaporíticas (yesos) de la Forma-ción Balsas. Hacia el sur las concentraciones de sales mantienen valores de 500 mg/l, y en la zona occidental, antes del poblado de Los Arcos los valores fluctúan por los 400 mg/l.

Según las curvas de sólidos totales disueltos configura-das en el PLANO V.2 se observa que la dirección de flujo del - agua subterránea es de noreste a oeste. Además, los bajos valo-res en la zona noreste están indicando el área de recarga o ali-mentación del acuífero; pero por otra parte, los mismos valores bajos indican que el agua fluye a través de rocas de alta permea-bilidad y que sus horizontes litológicos no contienen sales de - fácil disolución.

## b).- CONCENTRACIONES DE SODIO.

Las concentraciones menores de sodio se presentan en los aprovechamientos 21,15 y 24 (el orden de los aprovechamientos se ha colocado siguiendo la hipótesis de flujo de corriente descrita en este escrito, y así se hará en los siguientes párrafos a menos que se haga algún señalamiento), permitiendo apreciar que las concentraciones de sodio se mantienen constantes a lo largo de la corriente de flujo, a excepción de los aprovechamientos 20 y 18 donde las concentraciones son mayores; sugiriendo, en ese lugar, que el acuífero entra en contacto con rocas evaporíticas del Grupo Balsas. El contenido de sodio, para los aprovechamientos de la zona nororiental, suponemos proviene de los feldespatos sódicos que contienen algunas rocas ígneas; ya que en términos porcentuales el contenido de sodio en estos aprovechamientos es alto respecto a los otros sólidos.

## c).- CONCENTRACIONES DE CALCIO.

El calcio es otro catión que nos permite identificar cuando el agua subterránea ha entrado en contacto con rocas sedimentarias, principalmente las calizas, las dolomitas y los yesos. Su contenido en las rocas sedimentarias es alto, mientras que en las rocas volcánicas es bajo. En la zona de estudio las concentraciones más bajas se aprecian en los aprovechamientos 15 y 17,

mientras que se ven incrementados en los aprovechamientos 20 y - 18; lo que sugiere nuevamente que el agua subterránea entra en - contacto con rocas evaporíticas. Otra zona en que el calcio se - ve incrementado es en donde se encuentran los aprovechamientos - 35,37 y 38 al occidente. Este incremento porcentual es referido a los sólidos totales disueltos y se supone influyen en él la - litología de las Formaciones Mezcala, Cuautla y Morelos afloran- tes en aquella zona.

d).- CONCENTRACIONES DE MAGNESIO.

El magnesio es uno de los elementos, que junto con el cal - cio y el sodio, corresponden a los principales cationes que se - encuentran disueltos en el agua natural. Es, además, un elemento constitutivo de las rocas volcánicas, principalmente en compues- tos ferromagnesianos y generalmente con predominio sobre los ca- tiones de sodio y calcio. Se encuentra también con abundancia en rocas sujetas a fenómenos de evaporación. En la zona de estudio los contenidos menores se dan en los aprovechamientos 9, 15 y 17 en la parte noreste del Centro Vacacional Oaxtepec. En los apro- vechamientos del Centro Vacacional, tanto en el pozo como en el manantial de La Cúpula, los contenidos de magnesio se ven incre- mentados, y de igual manera que en los casos anteriores lo adju- dicamos al contacto que el acuífero realiza con la litología del Grupo Balsas. En el área donde se ubican los aprovechamientos -

37 y 38 se registraron contenidos altos de magnesio y suponemos también que se debe al contacto del acuífero con rocas del Grupo Balsas.

e).- CONCENTRACIONES DE CARBONATOS.

El bicarbonato es un anión que nos ayuda a determinar con tactos del agua subterránea con formaciones carbonatadas; siendo también producto de reacciones químicas que se llevan a cabo entre el agua, el bióxido de carbono, el hidrógeno y algunas rocas. En la zona de estudio las menores concentraciones se presnetan - en las inmediaciones del Centro Vacacional, en la parte noreste, en los aprovechamientos 15,16 y 17. Inmediatamente la concentración de bicarbonato se ve encrementada en el aprovechamiento 18, que junto con los aprovechamientos 26 y 27 del área de la Exhacienda de Cocoyoc, presentan los valores más altos. En cuanto a su porcentaje de presencia, en cada aprovechamiento y respecto a los sólidos totales, es el elemento de mayor presencia en la zona, esceptuando los aprovechamientos 18,20,37 y 38 en que los - contenidos de este anión decrecen conciderablemente mientras que los de sulfuro se ven incrementados. Con este dato podemos hacer patente que en los aprovechamientos 18 y 20 el agua subterránea aún no tiene contacto con las formaciones Cretácicas, principalmente carbonatadas.

## f).- CONCENTRACIONES DE SULFATOS.

Los sulfatos son generalmente abundantes en las rocas sedimentarias, principalmente en las que han estado sujetas a procesos de evaporación. Otra fuente de sulfatos, aunque de menor proporción, la constituyen algunas rocas ígneas formadas por minerales sulfurosos. Las concentraciones menores de sulfatos se encuentran en los aprovechamientos 21, 17 y 24, mientras que las concentraciones mayores se encuentran en los aprovechamientos 18, 37 y 38. Nuevamente encontramos el aprovechamiento 18 al que hemos descrito como lugar de contacto entre el acuífero y las rocas evaporíticas del Grupo Balsas.

## g).- CONCENTRACIONES DE CLORUROS.

Las menores concentraciones de cloruros se encuentran en los aprovechamientos 17, 24 y 27, mientras que las concentraciones mayores se reportan en los aprovechamientos 18, 37 y 38. La mayor concentración en estos aprovechamientos se adjudica a los mismos fenómenos antes descritos: al contacto del acuífero con la litología del Grupo Balsas.



#### V.4.- FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO.

Ahora pasaremos, en base a lo hasta aquí expuesto, a determinar el funcionamiento hidráulico del acuífero de la zona de estudio.

En base al estudio: "Comportamiento Hidrogeoquímico del agua subterránea en la zona norte y centro del Estado de Morelos" del Ing. Eliseo Vazquez Sánchez, del cual anexamos al final de este capítulo la figura de la Sección Hidrogeológica Idealizada, se confirma que parte del agua precipitada en la Sierra Chichinutzín, en la parte alta al noreste del Centro Vacacional Oaxtepec, se infiltra a través de los materiales volcánicos, principalmente en las tobas, brechas y lavas volcánicas basálticas de acuerdo al grado de fracturamiento que presentan estos materiales.

Es posible pensar que el acuífero de la zona está contenido no solo en las rocas basálticas fracturadas, sino también en las rocas calizas y los sedimentos granulares. De ser así, el acuífero tendría una marcada heterogeneidad en su comportamiento. Por un lado estaría el sistema de flujo profundo o regional realizado a través de las rocas calizas y, por otro lado, el flujo relativamente somero que se realiza a través de las rocas volcánicas fracturadas.

El determinar el origen de las aguas del manantial de La Cúpula parece ser un tema interesante que ocuparía un estudio -

más específico. Sin embargo, el presente estudio ha determinado que sus aguas provienen del flujo somero, desarrollado a través de los basaltos, y que en las proximidades del manantial entró en contacto con los yesos del Grupo Balsas provocando un incremento considerable en su composición química. Con ello no se descarta la posibilidad de que en este manantial se de una mezcla de flujos pero ello sería, como se dijo anteriormente, tema propio de otro estudio.

La recarga del flujo somero ocurre en las formaciones de rocas volcánicas masivas fracturadas y en los depósitos de piroclastos que se extienden al noreste del Centro Vacacional Oaxtepec. Su comportamiento y circulación se desarrolla a través de esas mismas rocas, siendo controlado por su grado de fracturamiento. El comportamiento diferenciado del flujo influye en la posición de los niveles de agua y en la productividad de los pozos, ya que se presentan algunos de buen caudal junto con otros de bajo o nulo gasto.

La presencia de pozos de buen caudal junto con otros de bajo o nulo gasto, además de explicarse por el grado de fracturamiento, se explica por la distribución de los materiales volcánicos como producto del control topográfico preexistente a su manifestación. Es por ello que un buen estudio geofísico permite ubicar los sitios más favorables para la perforación de pozos y la extracción de agua.

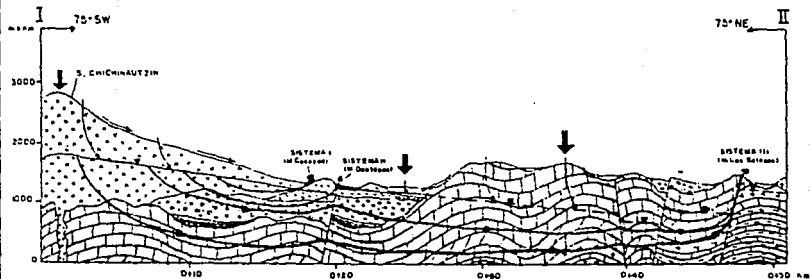
Ahora bien, la descarga del acuífero sucede tanto a través

de los manantiales ubicados en la zona como por la extracción de agua mediante pozos. La descarga en forma natural ocurre casi en su totalidad en las rocas volcánicas básicas, salvo en los manantiales de La Cúpula y de Itzmatitlán en que el acuífero entra en contacto con las rocas evaporíticas del Grupo Balsas.










En base a la TABLA V.1 se configuró el PLANO V.1 en el que se pueden observar las curvas de igual elevación del nivel estático. En esta configuración aparecen curvas que varían de los 1400 m.s.n.m., en la parte nororiental del plano, a los 1250 m.s.n.m., en la parte occidental. En la zona del Fraccionamiento Lomas de Cocoyoc se observa una curva de 1350 m.s.n.m. que sugiere la formación de un cono de abatimiento, probablemente debido a una sobreexplotación del acuífero, como a condiciones estratigráficas y estructurales que las rocas guardan en el lugar. Esto ha provocado que el flujo subterráneo que alimenta la descarga del manantial "Ojo de San Juan" se haya visto disminuido y que ahora circule hacia la zona de captación del abastecimiento de agua potable del Fraccionamiento Lomas de Cocoyoc.





También, las curvas expresadas en el PLANO V.2 nos permiten observar que el flujo del acuífero desciende de la porción nororiental, donde se ubica la zona de recarga, y se dirige hacia la zona suroccidental, donde a través de un gran número de manantiales va realizando su descarga natural.

Fig. VI.1 Sección Hidrogeológica Idealizada



EXPLICACION

-  ARENAS Y GRAVAS (Ca)
-  BASALTOS Y ESCONIASIPOLIS
-  LENTES DE YESO (Ca)
-  CONGLOMERADOS (Ca)
-  ARENISCAS LUTITAS Y LIMULITAS (Ca)
-  CALIZAS (Ca y Na)
-  DOLOMITAS (Ca)
-  AMFIBOLITAS (Ca)
-  CALIZAS Y LUTITAS (Ca)

- PRECIPITACION 
- DIRECCION DE FLUJO DEL AGUA 
- NIVEL FREATICO 
- NIVEL FREATICO IMPERDIDO 

Escala Vertical 1:5000  
Escala Horizontal 1:20000

Eliseo Vázquez Sánchez

Eliseo Vázquez Sánchez

## RESUMEN .

.- La zona de estudio se encuentra localizada según las coordenadas geográficas: 18° 50' y 19° 00' de latitud norte, y - 98° 52' y 99° 02' de longitud al oeste del Meridiano de Greenwich.

.- El acceso a la zona de estudio se hace a través de - las carreteras Federales N° 95, N° 15 y N° 138 que comunican las Ciudades de México, Cuernavaca y Cuautla.

.- El clima que predomina en la zona de estudio es de tipo semicálido y subhúmedo. La parte sur presenta una temperatura cálida que tiende a disminuir hacia la parte norte.

.- La precipitación media de la zona es de 964.0 mm, y - una temperatura que varía de 14° C como promedio mínimo anual, a 28.6° C como promedio máximo anual.

.- La vegetación predominante en el área corresponde a - una de selva caducifolia: árboles y arbustos que pierden su follaje durante la época seca del año.

.- La cuenca del río Yautepec se encuentra limitando al norte con la cuenca endorréica del Valle de México, al este con la cuenca del río Cuautla y al oeste con la del río Apatlaco. - Las aguas del río Yautepec pertenecen a la vertiente del río Balsas a través de la subcuenca del río Amacuzac.

.- Las aguas del río Yautepec tienen un origen perene a partir de los manantiales que brotan en los alrededores del poblado de Oaxtepec. Las aguas intermitentes, que se desprenden de la margen derecha del río Yautepec, son conocidas con el nombre de río Itzmatitlán.

.- El área de estudio se encuentra localizada regionalmente en el límite nororiental de la provincia geológica de la cuenca Morelos-Guerrero, y cubriendo también una franja del límite sur del Eje Neovolcánico. Fisiográficamente se localiza en la parte nororiental de la cuenca Balsas. En ésta predominan los depósitos Mesozoicos y depósitos Terciarios continentales que hacia los límites con el Eje Neovolcánico se encuentran cubiertos por materiales piroclásticos.

.- La zona de estudio se encuentra en una etapa de Madurez que se ha visto rejuvenecida por las emisiones volcánicas del Cenozoico. Las rocas Mesozoicas conforman montañas de baja altura y más o menos redondeadas, con un sistema de drenaje rectangular. Las rocas ígneas están formadas por montañas volcánicas bajas y conos cineríticos que se observan a través de lomeríos arredondados de lavas y tobas, y presentando un sistema de drenaje tanto dentrítico como radial.

.- Dentro de la cuenca Morelos-Guerrero fueron depositadas las formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala. La Formación Morelos está constituida por estratos de calizas, en ocasiones fosilíferas, y por estratos de dolomitas, pudiendo contener yesos;

la Formación Cuautla está constituida por calizas fosilíferas, - presentando en ocasiones nódulos de pedernal, aunque muestra otra facies en la que alterna con terrígenos; finalmente la Formación Mezcala está compuesta de lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados con grano fino.

Dentro de la región estudiada, tanto al norte como al nor este y noroeste, la topografía se eleva en forma constante hacia el Eje Neovolcánico. En los alrededores del poblado de Oaxtepec, y sobre todo en el Centro Vacacional, se observan limolitas y - areniscas de grano fino, hematizadas, que alternan con capas de cuarzo coloidal; esta litología es de la Formación Balsas. Al - noroeste del Centro Vacacional aflora la Formación Tepoztlán, - formada por lahares de composición intermedia. En el área, sin - embargo, predominan los depósitos volcánicos en los que combinan derrames lávicos con material piroclástico del Grupo Chichinautzín.

En el aspecto estructural, la región presenta estructuras volcánicas de tipo cinerítico y mixto, con derrames de composición basáltica. Los derrames volcánicos están asociados a numerosas fracturas de tendencia radial, con orientación dominante - NE-SW, actuando como centro emisor los conos volcánicos, especialmente los de mayor elevación. El evento tectónico de fines - del Cretácico y principios del Terciario dió lugar a cuencas lacustres en las que se depositaron los materiales post-orogénicos, identificados como del Grupo Balsas; originándose posteriormente

emplazamientos volcánicos, producto de fallamientos corticales - (fallas y fracturas) y erupciones centrales (volcanes).

.- Dentro de la Geofísica aplicada el método de resistividad eléctrica es de particular trascendencia para la solución de problemas en estudios Geohidrológicos. En base a la ley de - Ohm (  $I = \frac{V}{R}$  ) se aplicaron 7 Sondeos Eléctricos que pretenden - obtener la respuesta de las rocas y materiales del subsuelo (resistividad y conductividad) a los estímulos eléctricos enviados desde la superficie del terreno.

.- Se obtuvieron dos secciones geoelectricas. La sección B, con el Sondeo Eléctrico Vertical N° 1, donde se suministra la información geofísica del pozo ya existente, y la sección AA' con los Sondeos Eléctricos Verticales del 2 al 7.

.- Los horizontes detectados: a) material de suelos y - rellenos, con espesor promedio de 7 m. b) basalto fracturado con espesor promedio de 8 m. c) tobas con espesor promedio de 7 m. - d) basaltos poco fracturados con espesor promedio de 25 m. e) ba salto fracturado con intercalaciones tobáceas y con espesor promedio de 50 m. f) tobas y yesos localizados a una profundidad - aproximada de 100 m.

.- En base a las apreciaciones de campo se hizo una cla sificación de las posibilidades hidrológicas de las diferentes - unidades litológicas aflorantes en la zona. Como unidades impermeables: Formación Tlayacac. Como unidades semipermeables: Forma ción Morelos, Formación Cuautla, Grupo Balsas, Formación Tepoz-



tlán, Conglomerados. Como unidades permeables: Grupo Chichinautzín, Aluviones.

.- Apoyados en la medida de las profundidades del agua, en los niveles topográficos y datos de los brocales se obtuvo el Plano V.1 donde se muestran las líneas de igual elevación de nivel piezométrico. Siendo así posible determinar las áreas de recarga y descarga, así como la dirección del movimiento subterráneo del agua.

.- Se delimitaron tres zonas de diverso compostamiento respecto a las profundidades del nivel estático. La primera zona se ubicó al noreste del Centro Vacacional, en el área de los fraccionamientos donde las profundidades del nivel estático son muy variables; estas variaciones se adjudican hipotéticamente a condiciones de sobreexplotación así como a condiciones estratigráficas y estructurales del tiempo en que fueron emplazadas las rocas actuales. La segunda zona se localizó en los alrededores del Centro Vacacional y esta constituida por los cortes que el agua subterránea hace a la superficie del terreno. La tercera zona en la parte occidental del área de estudio donde se encuentran las profundidades del nivel estático más pequeñas, entre los 0 m. y los 30 m.

.- Es importante señalar que las elevaciones del nivel estático de los pozos 11 y 14, pertenecientes a fraccionamientos ubicados al noreste del poblado de Oaxtepec, sugieren anomalías que consisten en la formación de conos de depresión de los nive-

les estáticos, posiblemente devidos al efecto combinado de la ex tracción del agua subterránea y las condiciones estructurales del subsuelo.

.- La disposición de las curvas de igual elevación del nivel estático manifiestan que: la dirección y movimiento del agua subterránea ocurre de la parte nororiental a la parte occidental de la zona de estudio; la recarga del acuífero se origina en la porción noreste, donde las profundidades del nivel estático son mayores; la descarga natural del acuífero sucede hacia las márgenes del río Yutepec.

.- La principal fuente de recarga corresponde a la precipitación pluvial que ocurre al noreste de la zona, en un área que se extiende desde la ladera suroccidental del volcán Popocatepetl hasta la zona de manantiales en los alrededores del poblado de Oaxtepec.

.- La composición química de los manantiales que brotan en la zona de Oaxtepec es variable. En la porción nororiental se registran las concentraciones más bajas de Sólidos Totales Disueltos, 200 mg/l y corresponden a los manantiales de la zona de la meseta; la concentración de sales en el agua se ve fuertemente incrementada, hasta 1700 mg/l en el manantial de La Cúpula en el Centro Vacacional Oaxtepec, indicando que el agua tiene contacto con rocas evaporíticas (yesos) de la Formación Balsas. Hacia el sur las cocentraciones de sales mantienen valores de 500 mg/l, y en la zona occidental, antes del poblado de Los Arcos, -

los valores fluctúan por los 400 mg/l.

.- El estudio químico del agua corrobora la dirección del flujo del agua subterránea, así como del área de recarga del acuífero. Es de notar, también, que las concentraciones de cationes (Ca, Na, Mg) y aniones (Carbonatos, Sulfatos, Cloruros) se ven incrementadas considerablemente en el aprovechamiento N° 18 (manantial de La Cúpula), lo que sugiere nuevamente que el agua subterránea entra en contacto con las rocas evaporíticas del Grupo Balsas.

.- Es así como se piensa que parte del agua precipitada en la Sierra Chichinautzín, en la parte alta al noreste del Centro Vacacional Oaxtepec, se infiltra a través de los materiales volcánicos, principalmente en las tobas, brechas y lavas volcánicas de acuerdo al grado de fracturamiento que presentan estos materiales.

El hecho de que las aguas del manantial de La Cúpula (aprovechamiento N° 18) no sean termales permite descartar la hipótesis de un acuífero profundo. El alto contenido de Sólidos Totales en ese manantial es debido a que el acuífero entra en contacto con las rocas evaporíticas de la Formación Balsas.

.- La recarga del acuífero ocurre en las formaciones de rocas volcánicas masivas fracturadas y en los depósitos de piroclastos que se extienden al noreste del Centro Vacacional Oaxtepec. El comportamiento y circulación del agua se desarrolla a través de esas mismas rocas, siendo controlado por su grado de -

fracturamiento. Ahora bien, la descarga del acuífero sucede tanto a través de los manantiales ubicados en la zona como por la extracción de agua mediante pozos.

.- El acuífero presenta un comportamiento diferenciado que puede observarse en la productividad de los pozos. La presencia de pozos de buen caudal junto a otros de bajo o nulo gasto, además de explicarse por el grado de fracturamiento se explica por la distribución de los materiales volcánicos en el momento de su depósito, producto del control topográfico preexistente a su manifestación.

.- En la zona del Fraccionamiento Lomas de Cocoyoc se observa una curva de 1350 m.s.n.m. que sugiere la formación de un cono de abatimiento, probablemente debido a una sobreexplotación del acuífero, así como a las condiciones estructurales y estratigráficas que guardan las rocas en ese lugar. Ello ha provocado que el flujo subterráneo que alimenta la descarga del manantial "Ojo de San Juan" se haya visto disminuido y que ahora circule hacia la zona de captación del abastecimiento de agua potable del Fraccionamiento Lomas de Cocoyoc.

## CONCLUSIONES

- A) En la zona existe un acuífero libre en el que su flujo se desarrolla a través de las rocas volcánicas basálticas fracturadas de la Formación Chichinautzín.

La potencialidad acuífera de la zona se encuentra en las rocas basálticas del Grupo Chichinautzín; siendo que a mayor profundidad podría interceptarse el flujo regional que ocurre en las rocas calizas.

- B) La recarga del acuífero se dá en la parte alta de la zona y su descarga ocurre en la zona de manantiales y del río yautepec, al igual que en los pozos profundos.

- C) En base a los estudios geofísicos se propusieron dos sitios para la extracción del agua, - sitios que resultaron positivos.

**A N E X O**

## A N E X O

En el presente apartado se muestran las características constructivas y de operación de los pozos profundos para agua potable que se realizaron en el área del Centro Vacacional I.M.S.S. Oaxtepec.

El primero de ellos corresponde al pozo que se realizó en el lugar donde se localizó el S.E.V. No. 2 del estudio geofísico; el segundo corresponde al pozo que se realizó en el lugar conocido como de " La Fuente Ornamental ", localizado en el área comprendida entre el S.E.V. No. 4 y el S.E.V. No. 7 del estudio geofísico.

Finalmente se muestran las gráficas de los Sondeos Eléctricos Verticales.

PERFORACION POZO No. 1 (S.E.V. 2)

## \* Compañía encargada de realizar la perforación:

- Desarrollo de Recursos Naturales (DERNA) del Grupo - I.C.A.

## \* Máquina perforadora:

- Rotaria SS-15; equipada con una bomba de lodos Bean Royal, capaz de proporcionar un gasto de 8.33 LPS, - además de contar con un compresor Gardner Denver.

## \* Tubería de perforación:

- 3 Drill Collars de 7.64 m de longitud cada uno. (sirven para dar peso a la sarta de perforación).
- 100 m de tubería de perforación.
- 3 barrenas tricónicas de  $12\frac{1}{4}$ " de diámetro, 2 de ellas con incrustaciones de Carburo de Tugsteno para perforar material duro y semiduro.

## \* Perforación exploratoria:

- Diámetro nominal  $12\frac{1}{4}$ "
- Profundidad 100 m.

## \* Fechas de la perforación exploratoria:

- Inicio: 30 de Junio de 1987.
- Fin: 21 de Julio de 1987.



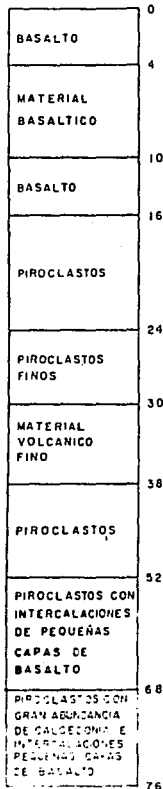
Datos de aforo del Pozo No. 1

## \* Del instrumental.

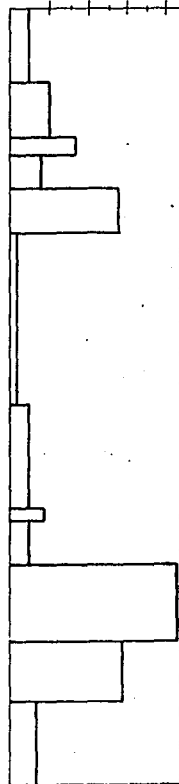
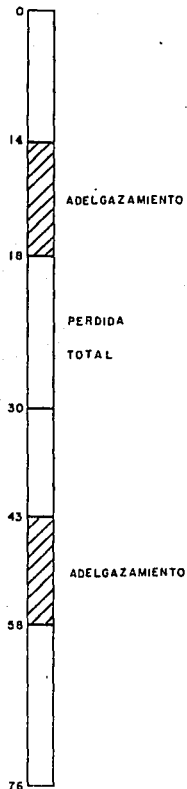
- Bomba de 4" de diámetro.
- 90 m. de columna de 4" de diámetro.
- Impulsores de  $5\frac{1}{2}$ " de diámetro, tipo cerrado.
- Motor Cummins de 250 H.P.
- Diámetro de descarga de 4" , y orificio de 3" de diámetro.

## \* De la extracción.

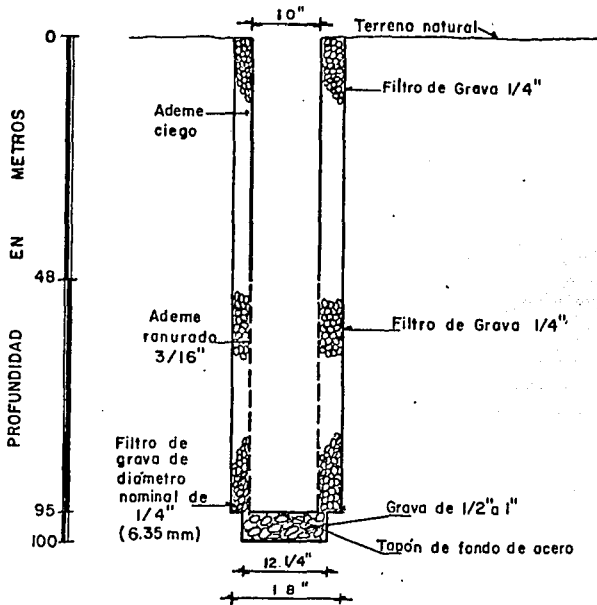
- N.E. 23 m.
- N.D. 62 m. promedio.
- Gasto 1.59 lts/s promedio.
- A las 61 hrs. 30 min. de bombeo el pozo se abatió totalmente. Con un nivel dinámico de 81.18 m. y un gasto de 1.7 lts/s., y a unas 2000 rpm.
- Después de una hora la recuperación del pozo llegó a un N.D. de 38.30 m.

COLUMNA  
LITOLÓGICATIEMPO PROMEDIO  
DE PERFORACION x m. ...

0 30 60 90 120 150 180 210 240 min.

COMPORTAMIENTO DEL  
FLUIDO DE PERFORACION

## DISEÑO DE POZO PROFUNDO "SEV-2"



CENTRO VACACIONAL  
OAXTEPEC  
I. M. S. S.

PERFORACION POZO No. 2 (Fuente Ornamental)

## \* Compañía encargada de realizar la perforación:

- Desarrollo de Recursos Naturales (DERNA) del Grupo - I.C.A.

## \* Máquina perforadora:

- Rotaria SS-15, equipada con bomba de lodos Bean Royal capaz de proporcionar un gasto de 8.33 lts/s, - además de contar con un compresor Gardner Denver.

## \* Tubería de perforación:

- 3 Drill Collars de 7.64 m. de longitud cada uno. -- (sirven para dar peso a la sarta de perforación)
- 100 m. de tubería de perforación.
- 3 barrenas tricónicas de  $12\frac{1}{4}$ " de diámetro, 2 de - ellas con incrustaciones de Carburo de Tugsteno para perforar material duro y semiduro.

## \* Perforación exploratoria.

- Diámetro nominal  $12\frac{1}{4}$ "
- Profundidad 60 m. (Según el estudio Geofísico a ésta profundidad hay un contacto entre los basaltos y la formación arcillosa que contiene yesos, contaminando el agua con sulfatos).

## \* Fechas de la perforación exploratoria:

- Inicio: 27 de agosto de 1987.
- Fin: 10 de septiembre de 1987.

DATOS DE SIFONEO DEL POZO No. 2

- \* El N.E. se encontró a los 11.05 m. y ahí se mantuvo durante la perforación exploratoria.
- \* En la prueba de Sifoneo, al minuto de haberse iniciado, el N.D. se fué hasta los 20 m. A los 15 minutos se fué a 21.34 m., manteniéndose en ese lugar durante 4 horas.  
Se observó que existe un equilibrio entre el agua aportada por el acuífero y el agua que se extrae. Por lo cual se deduce que el nivel real del pozo está a los 21.34 m. aproximadamente.
- \* Al final de la prueba, el N.D. se encontraba a 25.31 m. y el - gasto promedio obtenido durante toda la prueba fué de 10 lts/s.
- \* En las siguientes páginas se muestran los datos obtenidos en - la perforación y el diseño del pozo profundo.

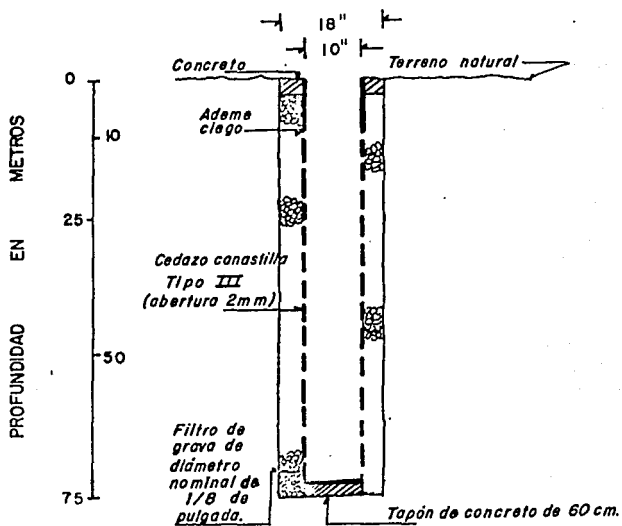
DATOS DE AFORO DEL POZO No. 2

- \* Del instrumental.
  - Bomba de 8" de diámetro con impulsores abiertos.
  - 68.52 m. de columna de 4" de diámetro.
  - Motor Cummins de 350 H.P.
  - Descarga de 4" de diámetro y, orificio de 3" de diámetro.

## DATOS OBTENIDOS EN LA PERFORACION

COLUMNA LITOLOGICA	TIEMPOS DE PERFORACION PROMEDIO POR METRO	OBSERVACIONES
PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD - TIEMPO	PROFUNDIDAD
0	0	0
2	23'	CONTRA-ADEME CEMENTADO
	3	
SUELO	3 hrs.	
BASALTO	8	
COMPACTO	9	
	55'	
12	20'	12
BASALTO C/CONSIDERABLE HORSA TOBA	13	SE ENCONTRO NIVEL DEL AGUA Y SE MANTIENE CTE POR LO GRAL.
BASALTO CON MATERIAL VOLCANICO (TEZONTLE Y HORIZONTES TOBA)	16	
	30'	
22		
BASALTO DISMINUYE MAT. VOLCANICO Y TOBA	26	
	27	
26	1hr 30'	
BASALTO FRACTURADO C/MAT. VOLCANICO	31	28.80
	15'	SE PERDIO LA CIRCULACION DEL FLUIDO DE PERFORACION.
BASALTO MUY FRACTURADO Y BASALTO C/MATERIAL VOLCANICO	41	
40	03'	
	41	
	38'	
	44	
	45	
	1hr 20'	
	33'	47
	48	HUBO CAIDOS 1m
	49	
	1hr 30'	
49	18'	
MATERIAL VOLCANICO FRACTURADO	52	
	1hr 10'	53
55	12'	HUBO POCOS CAIDOS
MATERIAL VOLCANICO FRACTURADO	55	
59	08'	57
MATERIAL VOLCANICO BASTANTE FRACTURADO	59	HUBO CAIDOS 2m
	65	58
	34'	HUBO CAIDOS 5m
BASALTO, BASALTO OXIDADO, MAT. VOLCANICO, TEZONTLE	68	60
	19'	HUBO CAIDOS 6m CASI SE RECUPERA LA CIRCULACION FALTARON 4m.
73		
	10'	71
75		CAIDOS 2m SE REPERFORA EN 04.
		75

## DISEÑO DE POZO PROFUNDO



CENTRO VACACIONAL IM.S.S.-OAXTEPEC

POZO

FUENTE ORNAMENTAL

\* De la extracción.

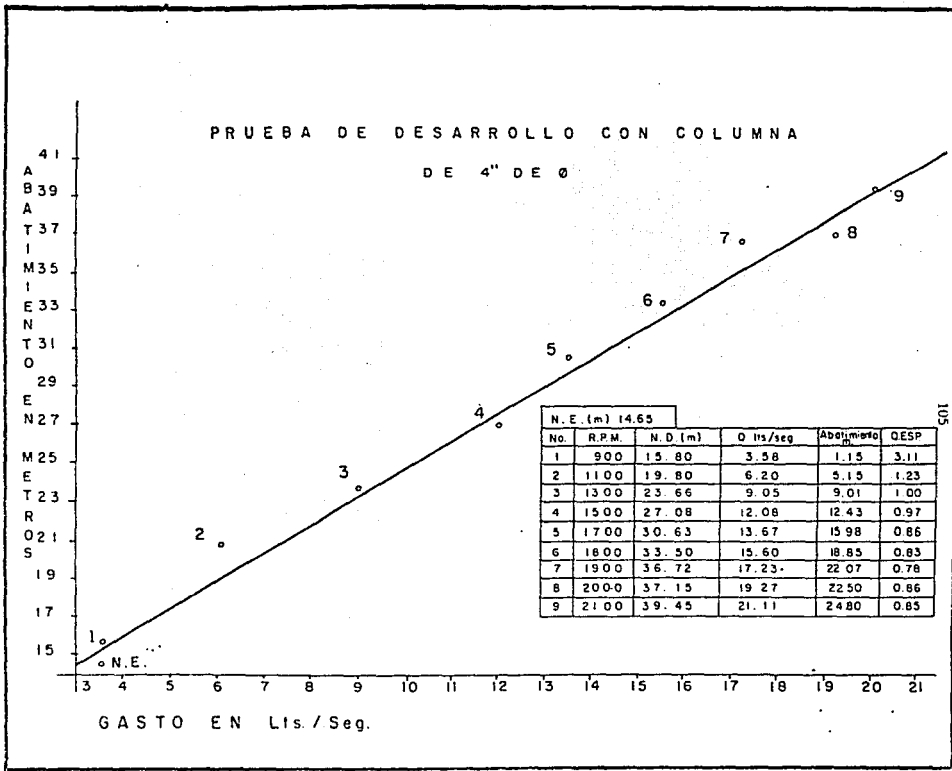
- N.E. 14.65 m.
- N.D. 39.45 m.
- Gasto 21.11 lts/s.
- A 2100 rpm.
- Después de 24 hrs. se suspendió la prueba de bombeo por resultar inadecuado el equipo instalado, por no tener la capacidad suficiente.
- La recuperación del pozo, después de una hora, llegó a un N.D. de 22.31 m.

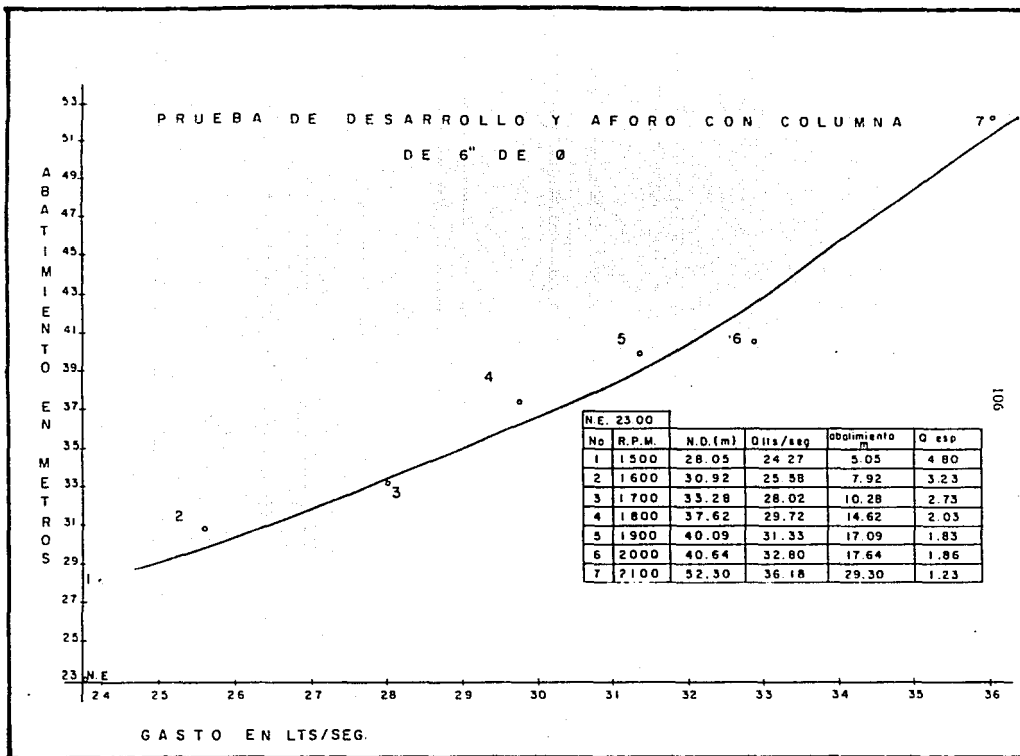
\* De la extracción. ( Con el equipo nuevo ).

- N.E. 23 m.
- N.D. 52.30 m.
- Gasto 36.18 lts/s.
- A 2100 rpm.
- Cuando se alcanzó este nivel dinámico empezó a salir aire, indicando que se está en la cámara de succión, al final de la tubería de extracción.
- La recuperación del pozo, después de una hora, llegó a un N.D. de 32.84 m.

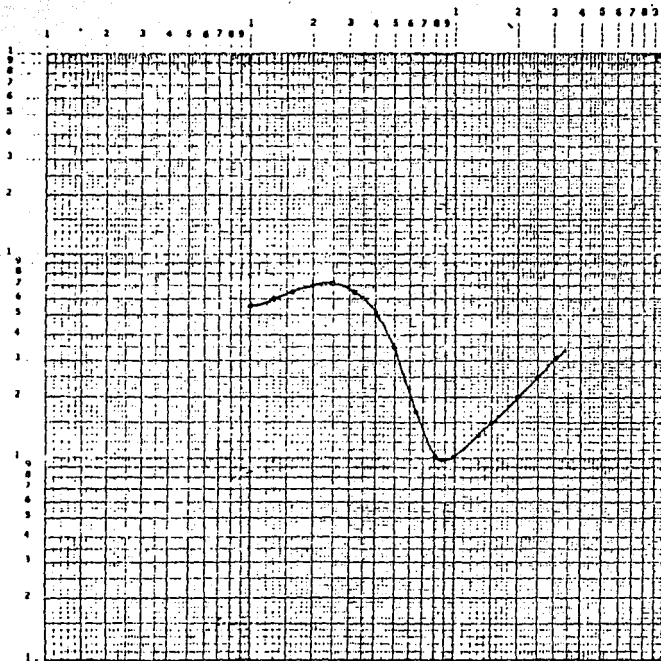
\* En las siguientes páginas se muestran unas gráficas de las pruebas de desarrollo con columnas de 4" y 6" de diámetro.





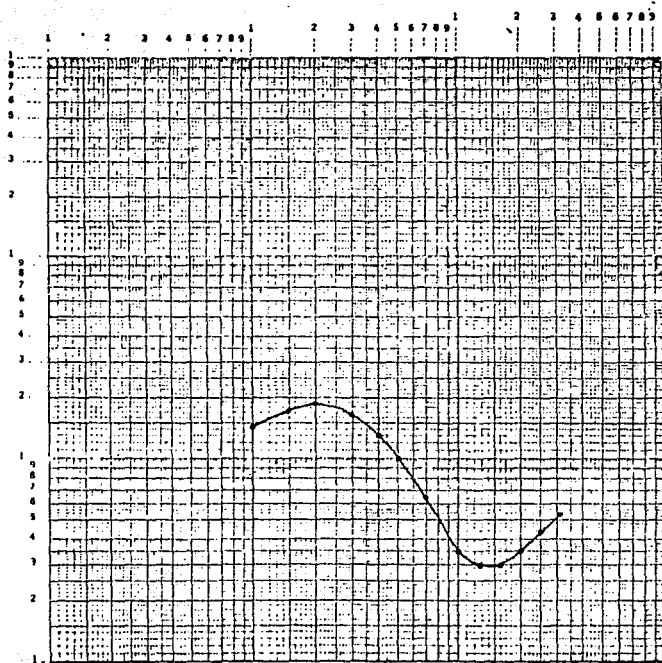


## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



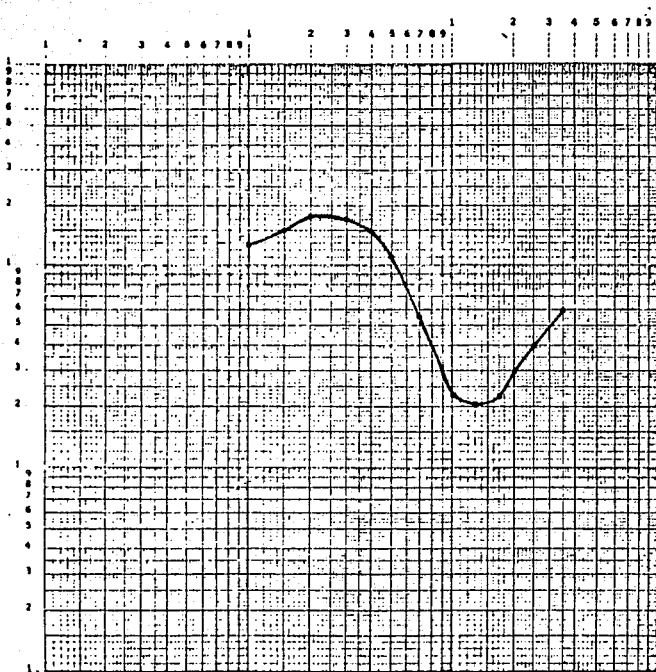
SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 1

## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



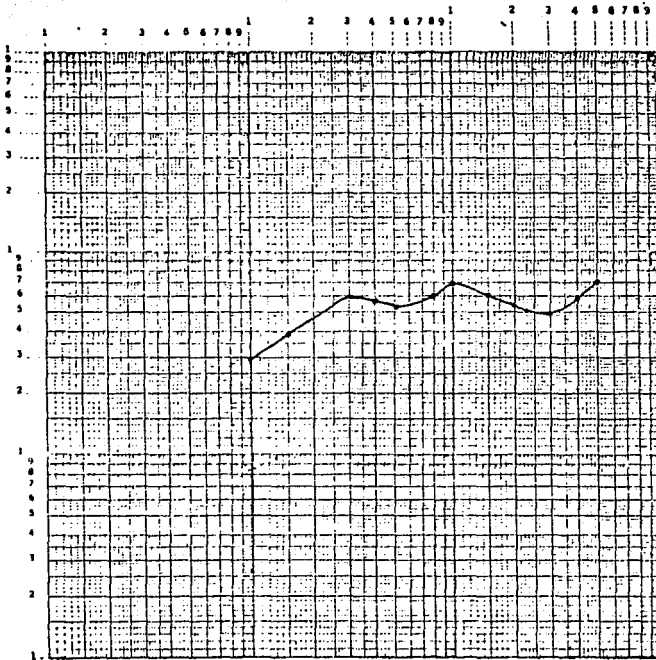
SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 2

## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



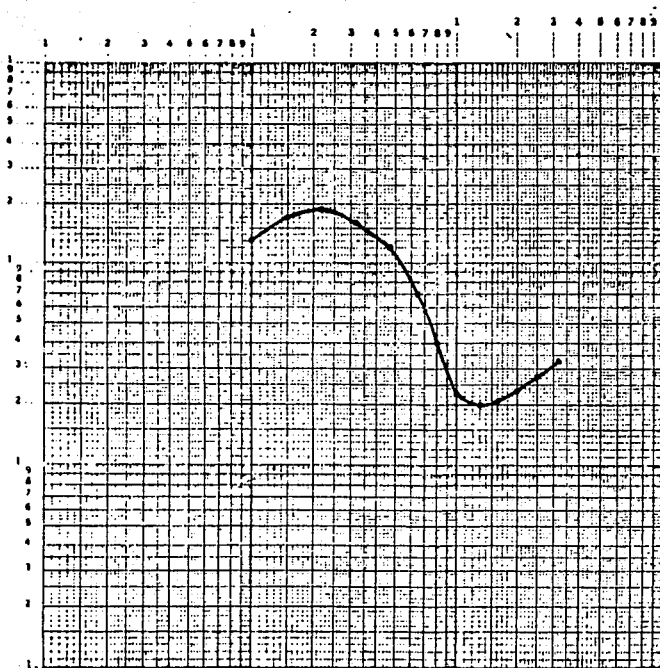
SONDEO ELECTRIC VERTICAL No. 3

## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



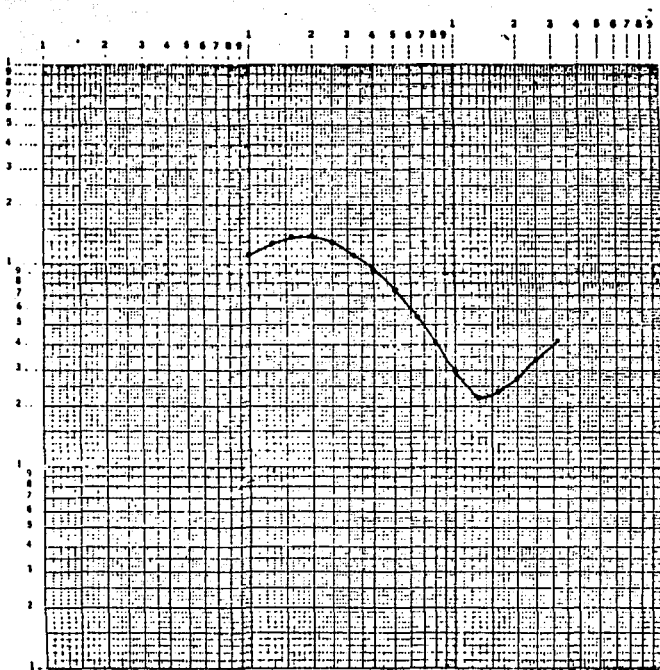
SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 4

## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 5

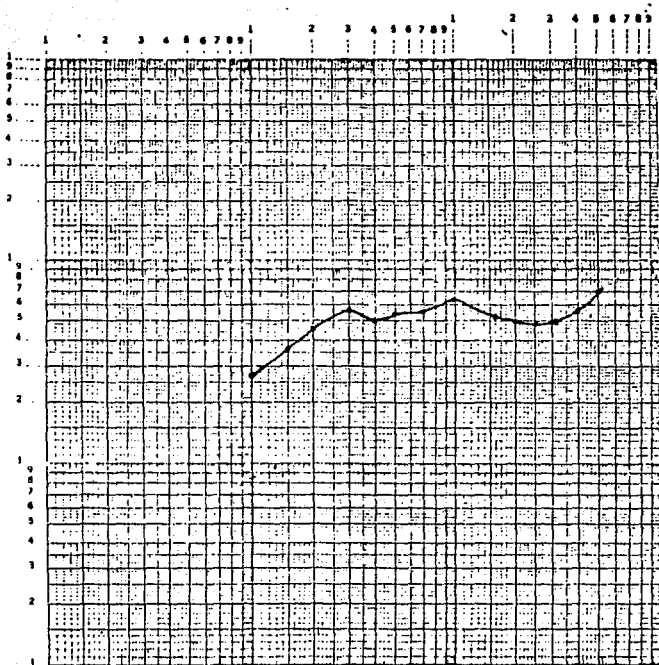
## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 6



## ESTUDIO GEOFISICO DE RESISTIVIDAD C.V.O.



SONDEO ELECTRICO VERTICAL No. 7

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez Manuel, 1961  
Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.  
Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XXIV No. 2
- Arroyo Juan P.  
Geografía del Edo. de Morelos.  
.....
- Campa Uranga F., 1978  
Evolución Tectónica de Tierra Caliente Edo. de Guerrero.  
Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XXXIX No. 2
- Campa U. F., Flores R., 1981  
Conjuntos Estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur.  
Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XLII No. 1,2
- Centro de Educación Continua, 1979  
Apuntes: Perforación de Pozos  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- Cuestodio E., Llamas M.R., 1976  
Hidrología Subterránea.  
Ed. Omega S.A.

- Del Valle Toledo E., 1986  
Apuntes de Introducción a los Métodos Geofísicos de Exploración.  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- Don Leet L., Judson Sheldon, 1968  
Fundamentos de Geología Física.  
Ed. Limusa-Willey México.
- Fries Carl, 1957  
Bosquejo Geológico de la Región entre México D.F. y Acapulco Guerrero.  
Bol. Asoc. Mex. de Geol. Petroleros Tomo IX No. 5,6
- Fries Carl, 1960  
Geología del Edo. de Morelos y partes adyacentes del Edo. de México y Guerrero.  
Instituto de Geología, U.N.A.M., Bol. No. 60
- Fries Carl, De Cserna Z., 1964  
Carta Geológica del Edo. de Morelos.  
Instituto de Geología, U.N.A.M.
- Hernández H., Ramírez H., 1982  
Origen, Estratigrafía y Petrografía de la Cuenca de México y Sierras circundantes.  
Tesis E.S.I.A., I.P.N.

- I.M.S.S., 1985  
Evaluación de los Recursos Hidráulicos en la Cuenca de Oaxtepec, para el abastecimiento de agua del Centro Vacacional I.M.S.S.-Oaxtepec.  
TAGSA, México.
- Krumblein W.C., Sloss L.L., 1968  
Estratigrafía y Sedimentación.  
Ed. U.T.E.H.A. México.
- Lomas de Cocoyoc, 1982  
Estudio Geohidrológico del desarrollo residencial "Lomas de Cocoyoc".  
Exploraciones Coordinadas S.A. de C.V.
- Morán Zenteno Dante J., 1984  
Geología de la República Mexicana.  
Facultad de Ingeniería, I.N.E.G.I.-U.N.A.M.
- S.A.R.H., 1981  
Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de Cuautla, Zacuapan de Amilpas, Ocuiltepec, en la porción nororiental del Edo. de Morelos.  
Investigaciones y Estudios de la Tierra S.A.
- S.A.R.H., 1980  
Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geo-

físicos en varios sitios del Edo. de Morelos.

PAREYA S.A.

- S.R.H., 1970

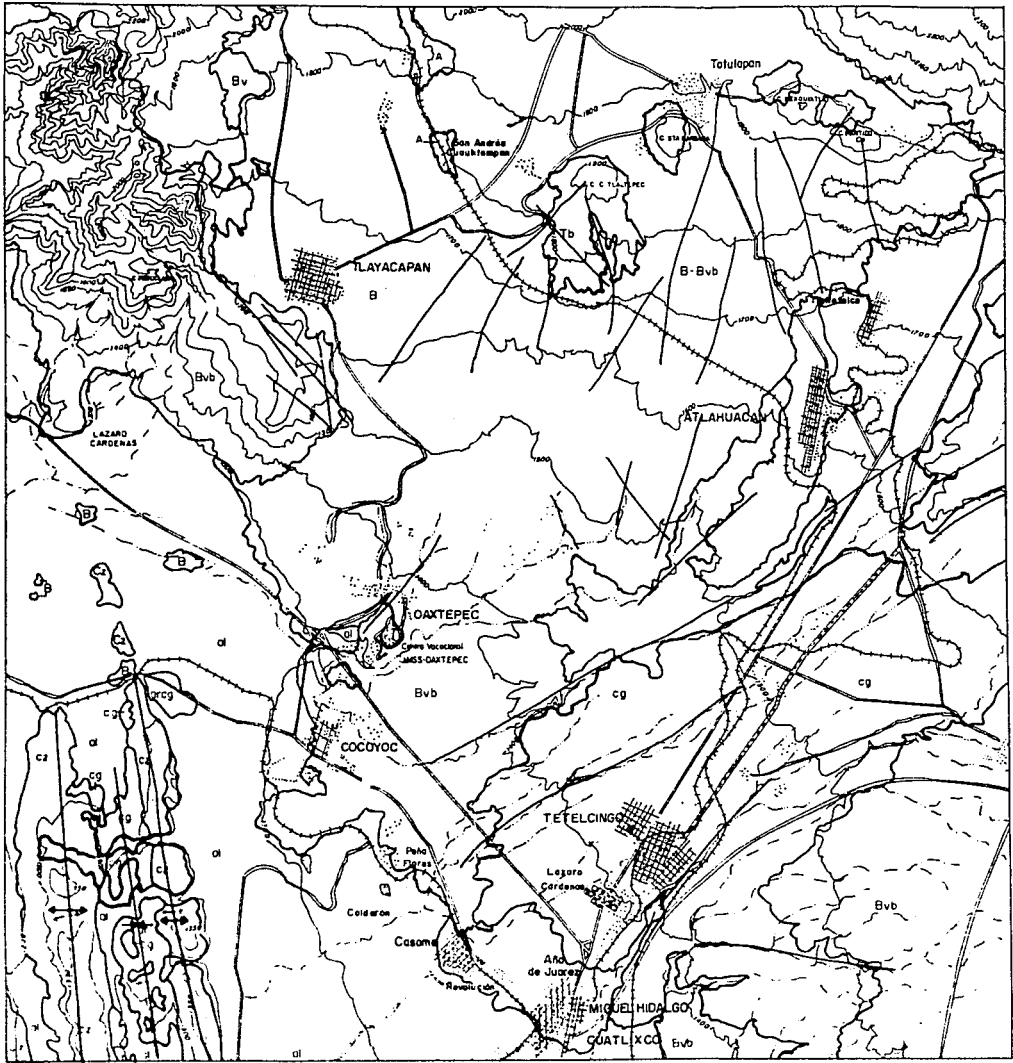
Región Hidrológica No. 18 parcial, de la Cuenca del Río -  
Amacuzac, Tomo II.

Bol. Hidrológico No. 47

- S.P.P.

Cartas Geológicas: "Cuernavaca" No. E14A59 ; "Cuautla" No.  
E14B51

I.N.E.G.I.



## SIMBOLOGIA

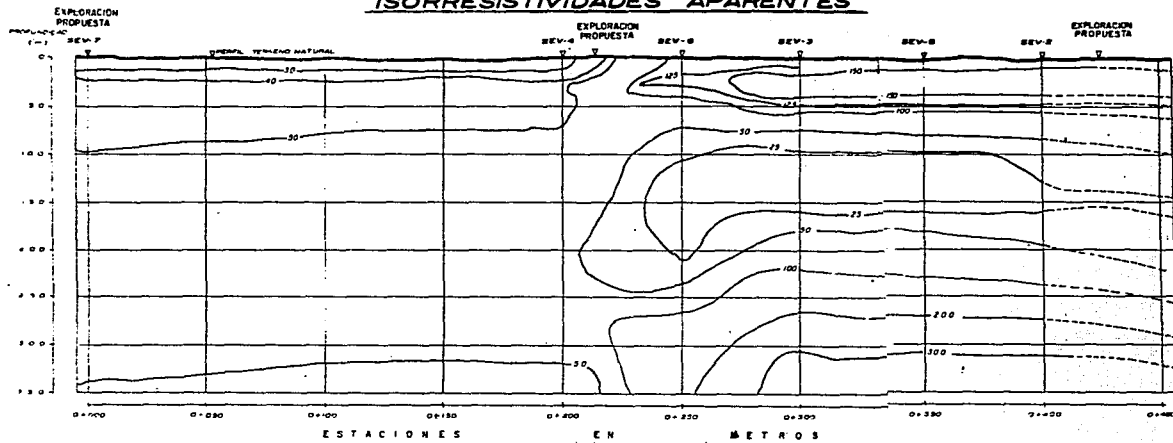
- CARRETERA PAVIMENTADA
- VIA FERROVIARIA
- POBLACION
- CASA AISLADA
- CURVA DE NIVEL
- EJE ANTICLINAL
- EJE SINCLINAL
- FALLA
- ARROYO, RIO, MANANTIAL
- CONTACTO GEOLOGICO
- MATERIAL ALUVIAL
- GPD. CHICHINAUTZIN
- CONGLOMERADOS
- F TLAYECAC
- F TEPOZTLAN
- GPD BALSAS
- F MEZCALA
- F CUAUTLA
- F MORELOS



ESCALA 1:50,000

<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA DE CUATEPEC MORELOS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA AL CENTRO NACIONAL MSP CUATEPEC	
<b>GEOLOGIA III.1</b>	
JORGE HUALDO ZUNTA	MEXICO, D.F. 1985

## ISORRESISTIVIDADES APARENTES

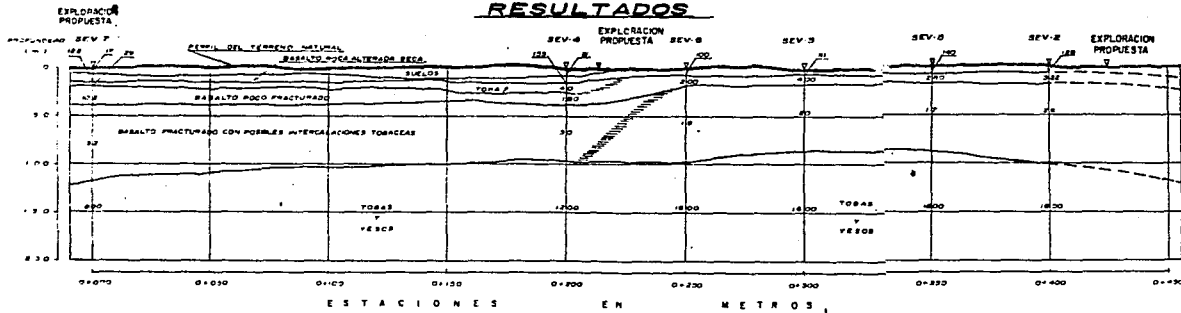


## SIMBOLOGIA

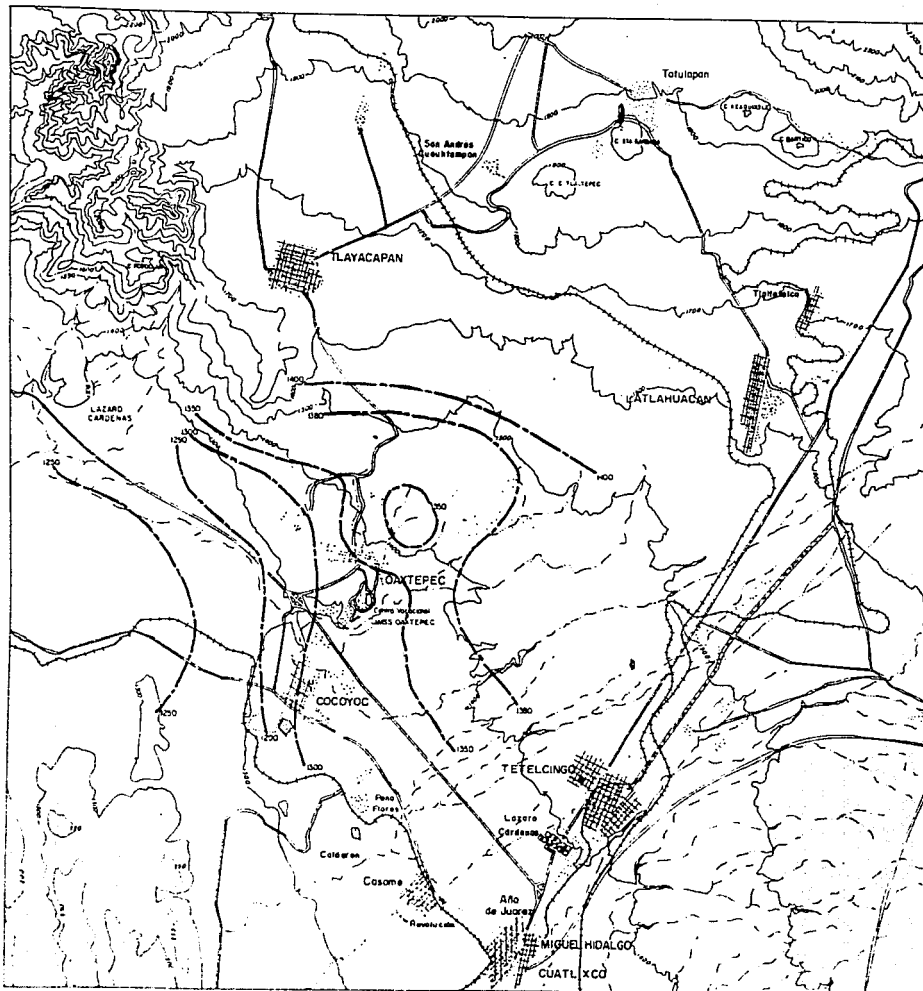
- ▶ BANDA ELECTRICA VERTICAL SEV-3
- CONTACTO RESISTIVO 1000
- INTERFAS EN  $\Omega_m$  50
- INTERFAS REFLECTIVA
- CONTACTO IMPERFECTO
- RESISTIVIDAD APARENTE

ESCALA 1:1000  
V 1:2500

## RESULTADOS



<b>UNAM</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA DE DARTPEC, MORELOS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA AL CENTRO VACACIONAL MIS-DARTPEC	
<b>PLANO GEOFISICO</b>	
JORGE HUALDE ZURITA	MEXICO, D.F. 1988



## SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	
VIA FERROVIARIA	
POBLACION	
CASA AISLADA	
CURVA DE NIVEL	
BORDO	
DEPOSITO DE AGUA	
ARROYO, RIO, MANANTIAL	
CURVAS DE IGUAL ELEVACION DE NIVEL ESTATICO	



ESCALA 1:50,000

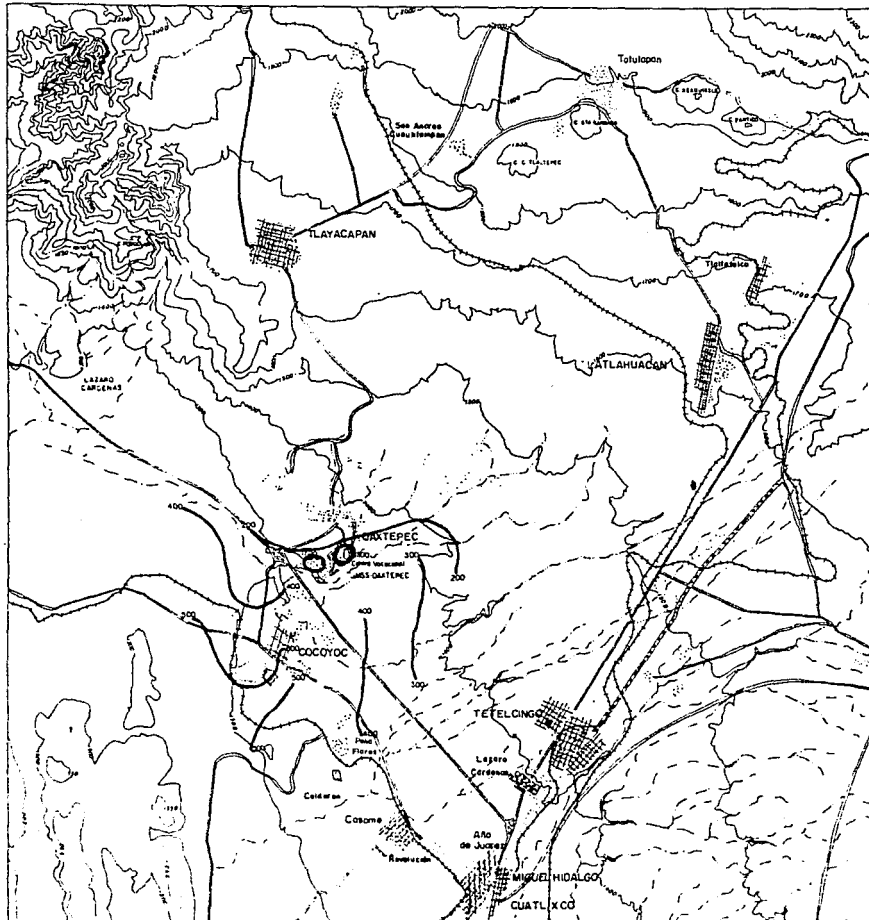
UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

ESTUDIO DE PROYECTO DE OBRAS DE  
 CONSTRUCCION DE UN PUENTE PARA EL TRAFICO DE  
 AGUAS EN EL ESTADO DE QUERETARO, DEL MUNICIPIO DE  
 CUATLXCO, CURVAS DE IGUAL ELEVACION DE NIVEL  
 ESTATICO

UNAM MEXICO D.F. 2000



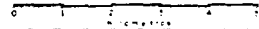


## SIMBOLOGIA

CARRETERA PAVIMENTADA	
VIA FERROVIARIA	
POBLACION	
CASA AISLADA	
CURVA DE NIVEL	
BORDO	
DEPOSITO DE AGUA	
ARROYO, RIO, MANANTIAL	
CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	



ESCALA 1:50,000



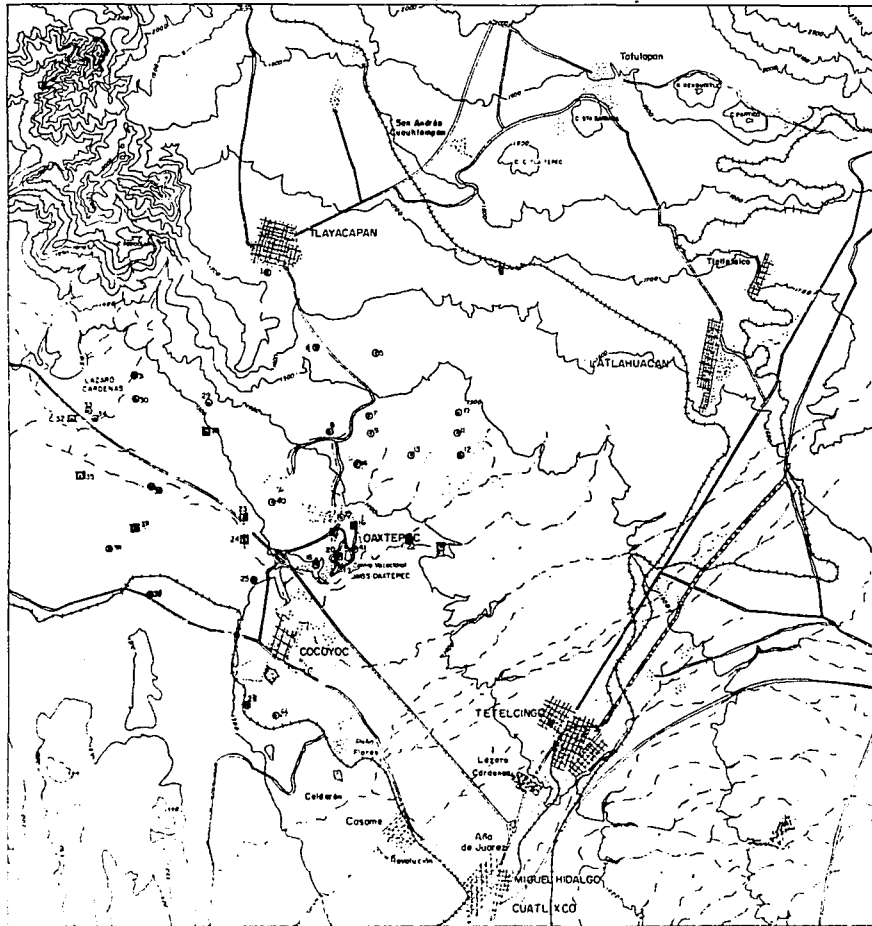
UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE EN LA ZONA DE CUATEPEC MORELIA PARA EL AÑO DE 1968. MUESTRA DE LAS CURVAS DE IGUAL CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

INGENIERO: JUAN CARLOS

MENTOR: DR. V. R.



## SIMBOLOGIA

CARRERA PAVIMENTADA	
VIA FERROVIARIA	
POBLACION	
CASA AISLADA	
CURVA DE NIVEL	
BORDO	
DEPOSITO DE AGUA	
ARROYO, RIO, MANANTIAL	
POZO	
MANANTIAL	



ESCALA 1:50,000

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL	
CENTRO DE APROVECHAMIENTO	