

8
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL
AREA DE
SANTA CATARINA YECAHUIZOTL,
TLAHUAC, DISTRITO FEDERAL**

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

RICARDO ALEJANDRO FRISANCHO ORTIZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. EMILIANO CAMPOS M.

MEXICO D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-034

SR. RICARDO ALEJANDRO FRISANCHO ORTIZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el Ing. Emilliano Campos Madrigal y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

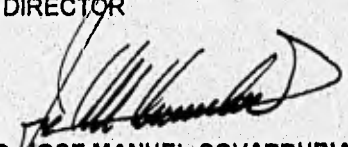
**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL AREA DE SANTA CATARINA YECAHUIZOTL,
TLAHUAC, DISTRITO FEDERAL**

	ANTECEDENTES
	INTRODUCCION
I	GENERALIDADES
II	GEOLOGIA
III	GEOFISICA
IV	HIDROGEOQUIMICA
V	HIDROGEOLOGIA
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFIA
	FIGURAS Y MAPAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 6 de mayo de 1996
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS*RLR*gtg

Agradecimientos:

- *A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad de formarme profesionalmente.*
- *A la Facultad de Ingeniería, por el espacio y el tiempo otorgados.*
- *Al Ing. Emiliano Campos M., por su asesoría en la realización de este trabajo.*
- *Al Ing. Raúl Morales E., por el apoyo otorgado para este estudio*
- *A los maestros, que como sinodales revisaron este trabajo.*
- *A mi familia.*
- *A mis amigos.*

INDICE

ANTECEDENTES	3
INTRODUCCION	4
I. GENERALIDADES.....	5
1.1. Localización	5
1.2. Vías de comunicación	5
1.3. Clima	6
1.4. Fisiografía	6
1.5. Hidrografía	6
1.6. Orografía.....	8
1.7. Población	9
1.8. Método de estudio	14
1.8.1. Recopilación bibliográfica y análisis de información.....	15
1.8.2. Verificación geológica e hidrológica.....	16
1.8.3. Censo de aprovechamientos.....	16
1.8.4. Nivelación topográfica de brocales	20
1.8.5. Realización de sondeos geofísicos.....	20
1.8.6. Medición de las características fisico-químicas del agua.....	20
1.8.7. Integración de resultados	21
II. GEOLOGIA.....	22
II.1. Geología regional	22
II.2. Geología local	23
II.3. Tectónica.....	24
II.4. Geología estructural	25
II.4.1. Análisis de fracturamiento	26
II.4.1.1. Estación La Caldera.....	27
II.4.1.2. Estación El Pino.....	27
II.4.1.3. Estación Las Vías.....	27

II.4.1.4. Estación Corte de la carretera	28
II.4.2. Fallas del Pliocuatnario	28
II.5. Geología Histórica.....	29
II.6. Estratigrafía.....	31
II.6.1. Terciario.....	31
II.6.2. Cuaternario.....	32
II.7. Geomorfología	34
II.7.1. Relieve endógeno	34
II.7.2. Relieve exógeno	34
III. GEOFISICA	36
III.1. Trabajo de campo.....	36
III.2. Resultados e integración geofísica.....	37
III.3. Integración geológico-geofísica	38
IV. HIDROGEOQUIMICA.....	41
V. HIDROGEOLOGIA	60
V.1. Unidades hidrogeológicas	60
V.1.1. Unidad Hidrogeológica I	60
V.1.2. Unidades Hidrogeológicas II y Ila	60
V.1.3. Unidad Hidrogeológica III	61
V.2. Modelo de funcionamiento hidrogeológico	63
V.3. Integración de resultados	65
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
VI.1. Conclusiones.....	69
VI.2. Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFIA.....	72
FIGURAS Y MAPAS	

ANTECEDENTES

Dada la importancia que tiene el agua para la sobrevivencia de las especies, es necesario prevenir el deterioro de la calidad del agua subterránea, protegiendo los acuíferos de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas.

Al N del poblado de Santa Catarina, en las faldas del Volcán La Caldera, existe una depresión causada por la explotación de un antiguo banco de materiales; desde principios de los ochentas, ésta depresión ha sido utilizada para la acumulación de desechos sólidos (basura) provenientes de la zona metropolitana, tal depósito se realizó sin ningún control y directamente sobre materiales de permeabilidad media y alta, sin especificaciones técnicas y sin tomar en cuenta las consecuencias ambientales y sociales que ocurrirían a mediano y largo plazo.

En años recientes, esta zona ha sufrido un crecimiento alarmante en su población y ha desarrollado una importante zona industrial, por lo que la producción de desechos sólidos y líquidos ha ido en aumento, trayendo como consecuencia graves problemas ambientales.

INTRODUCCION

El área de estudio está ubicada en la porción meridional de la Cuenca del Valle de México, la subcuenca de Chalco; ésta subcuenca suministra aproximadamente el 8% del agua potable para la zona metropolitana de la ciudad de México, a través de los pozos profundos del ramal Mixquic--Santa Catarina, controlados por la Gerencia de Aguas del Valle de México, de la Comisión Nacional del Agua (CNA), y pozos de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) del estado de México.

El agua subterránea se extrae de un acuífero constituido por rocas y cenizas volcánicas que se encuentran sobre las rocas andesíticas y dacíticas del Mioceno, el sitio en donde ocurre la principal recarga es en la Sierra Santa Catarina; su límite superior en algunos casos es el nivel freático, y en otros, las rocas arcillosas lacustres con espesores de hasta 400 m, por lo que originan condiciones de confinamiento y semiconfinamiento. estas rocas arcillosas se acuñan hacia la Sierra Santa Catarina; área en la cual se realiza el estudio geohidrológico a detalle.

El objetivo de este estudio geohidrológico es conocer, en función de las características naturales de la zona, la potencialidad contaminante de los desechos sólidos y líquidos, y así, planear las políticas a seguir a futuro, sin deterioro del ambiente.

I. GENERALIDADES

I.1. LOCALIZACION:

El área de estudio se localiza al SE de la ciudad de México, en parte de las delegaciones políticas de Tlahuac e Iztapalapa en el Distrito Federal y en los municipios de Chalco, Ixtapaluca, La Paz, Nezahualcoyotl y Chicoloapan en el estado de México.

Las coordenadas geográficas que lo enmarcan son: 98°53' a 99°00' longitud Oeste y 19°15' a 19°23' latitud Norte. Esta zona tiene un área aproximadamente de 190 km² (fig. 1 y 2).

Las poblaciones más importantes que se ubican dentro del área son: Santa Catarina Yecahuizotl, Tlalpizahuac, Magdalena Atlixpan, Ayotla, Tlapacoya, Ixtapaluca, Valle de Chalco, San Miguel Xico, San Francisco Tlaltenco, Los Reyes y parte de Ciudad Nezahualcoyotl y San Pedro Tlahuac.

I.2. VIAS DE COMUNICACION:

Debido a la alta densidad de población, esta región se encuentra ampliamente comunicada por vía terrestre, principalmente las carreteras pavimentadas México-Puebla de Cuota No. 150 y Libre No. 190, y la carretera federal México-Cuautla No. 115; así como caminos pavimentados y de terracería que comunican a los diferentes poblados.

Por vía férrea, es posible tener acceso al área por la ruta del antiguo ferrocarril a Cuautla.

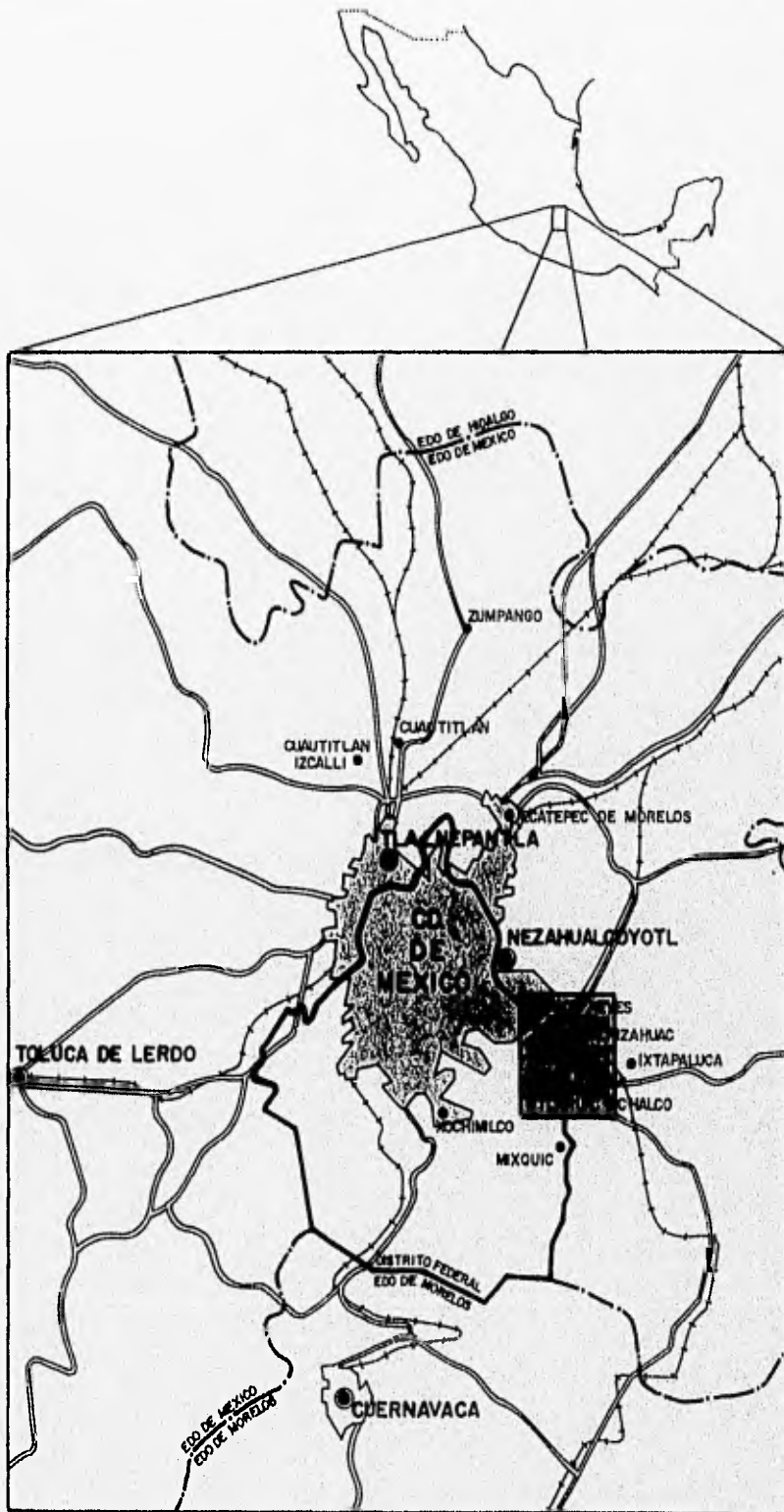


FIG. No. 1 LOCALIZACION GENERAL

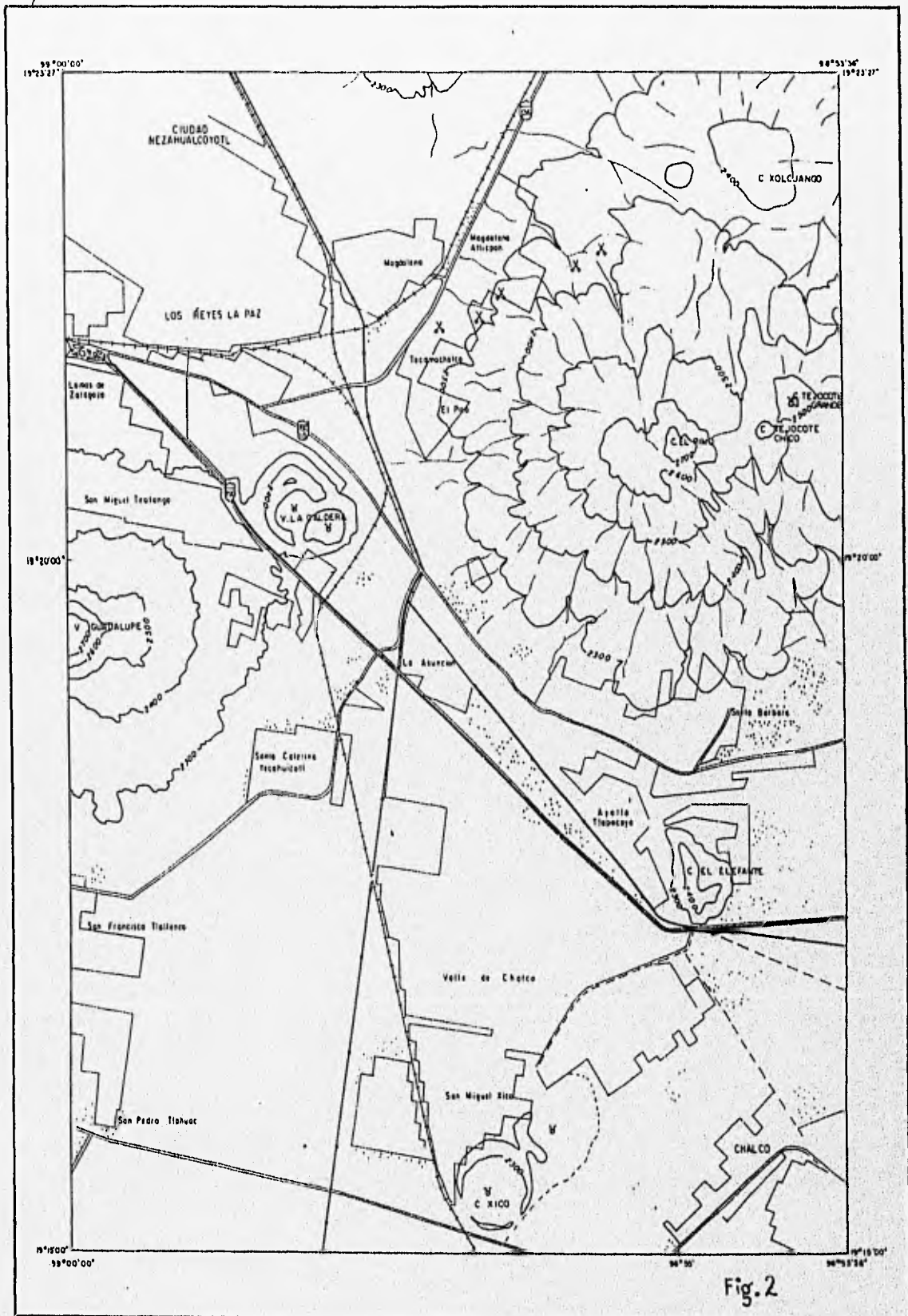


Fig. 2

I.3. CLIMA

De acuerdo a la clasificación climática elaborada por Köepen y modificada por Enriqueta García, el clima predominante en la región es C(w) Templado Sub-húmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 15°C. En general, los veranos son frescos y lluviosos, con promedio de precipitación de 885 mm/año; los meses de Mayo y Junio son los más cálidos del año y el período lluvioso comprende los meses de Mayo a Octubre con el 80 a 90% de precipitación anual.

Las porciones más elevadas topográficamente son las que presentan las temperaturas más bajas.

I.4. FISIOGRAFIA

La Cuenca de México se localiza al Sur del Altiplano Central, y en la parte central de la Provincia Fisiográfica X, Eje Neovolcánico (fig. 3) (E. Raisz, 1964). Esta cuenca está circundada por elevadas montañas y en diferentes lugares hay áreas lacustres, producto de los lagos que existieron al final del Pleistoceno y que formaban un sólo lago, de los cuales sólo queda el remanente de los lagos de Zumpango, Texcoco y Xochimilco (fig. 4).

I.5. HIDROGRAFIA

El sistema hidrográfico del Valle de México, actualmente después de numerosas obras hidráulicas realizadas de manera irreversible para el desecamiento de los antiguos lagos que existían en él, está dividido en 11 subcuencas, siendo la subcuenca de Chalco donde se encuentra la zona de estudio y ésta se localiza en la parte meridional de la Cuenca del Valle de México y constituye una de las más importantes respecto al volumen de reservas hídricas subterráneas y por ser estratégica para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de México.

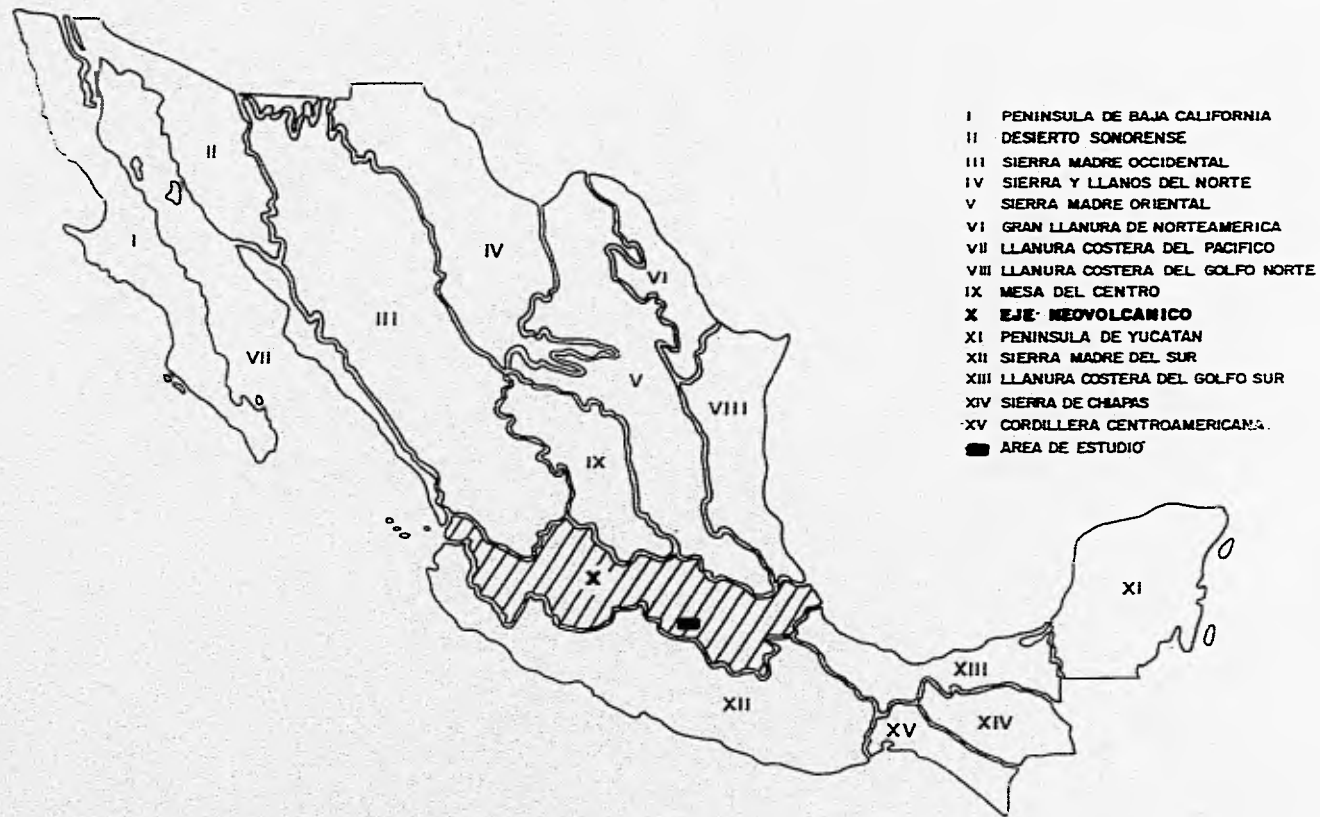


FIG. No. 3 MARCO FISIOGRAFICO DE LA REPUBLICA MEXICANA.
 (INEGI-UNAM, 1984)

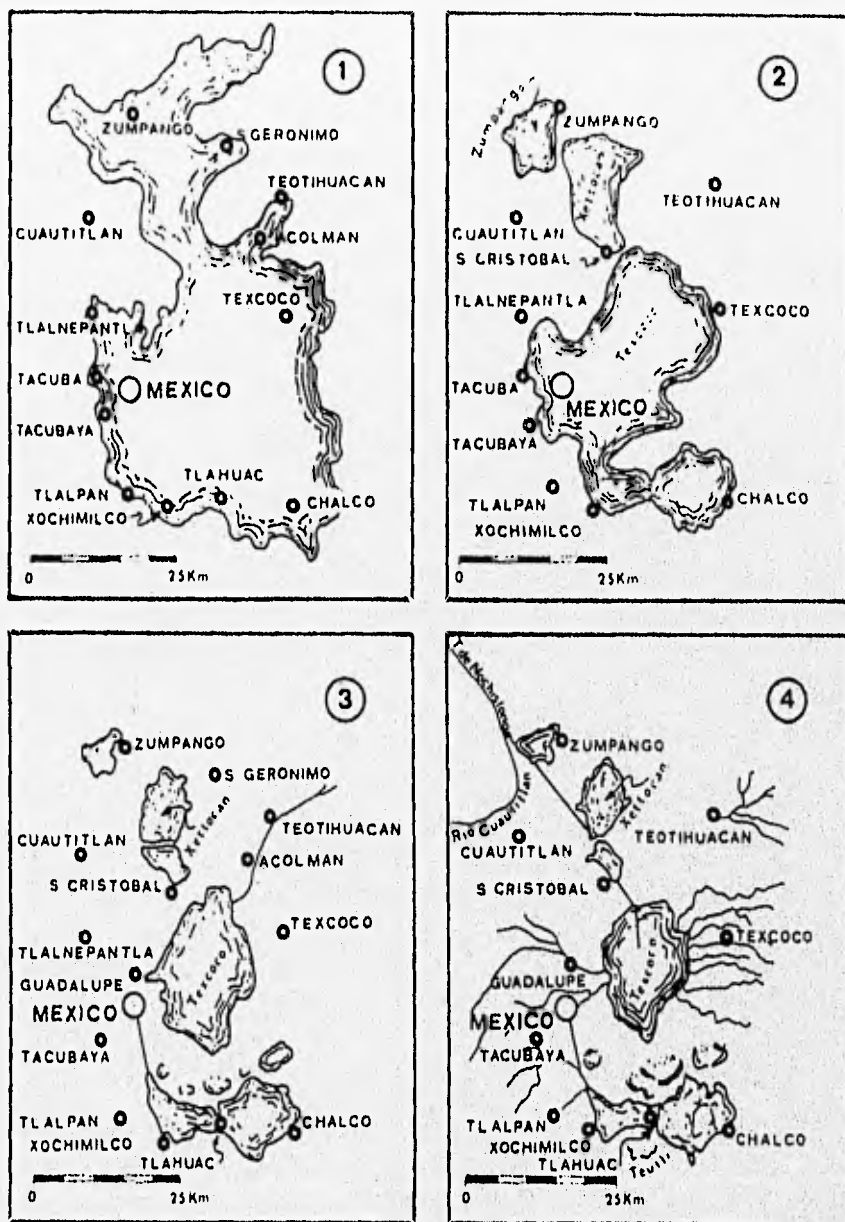
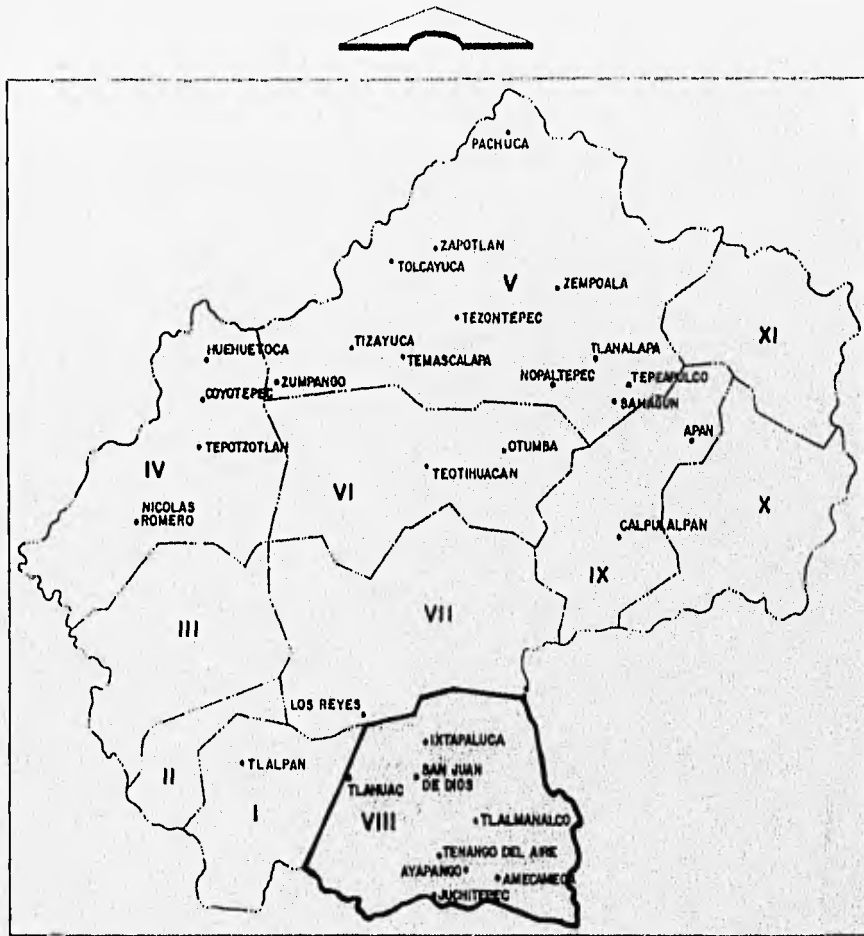


Fig. 4 - Evolución de los lagos en la Cuenca del Valle de México. (1) Los límites aproximados durante la época diluvial; (2) a comienzos del siglo XVI; (3) a comienzos del siglo XIX; (4) en el año 1889 (de Schilling, 1938, modificado).

FIG. No. 5A SUBDIVISION HIDROGRAFICA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO.



XOCHIMILCO	I
CHURUBUSCO	II
MEXICO	III
CUAUTITLAN	IV
PACHUCA	V
TEOTIHUACAN	VI
TEXCOCO	VII
CHALCO	VIII
APAN	IX
TOCHAC	X
TECOMULCO	

(INEGI, 1990)

Los recursos hídricos superficiales de las subcuencas del Valle de México son:

NÚMERO DE LA SUBCUENCA	ZONAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO (SUBCUENCAS)	VOLUMEN MEDIDO O ESTIMADO (MILES DE m ³)	VOLUMEN DE AGUA SUPERFICIAL EXCLUSIVAMENTE (MILES DE m ³)
I	Xochimilco	1,212	1,212
II	Churubusco	32,964	32,853
III	México	142,055	140,793
IV	Cuautitlan	127,389	116,215
V	Pachuca	-	514
VI	Teotihuacan	6,078	4,609
VII	Texcoco	33,685	36,802
VIII	Chalco	19,419	19,408
IX	Apan	13,821	13,821
X	Tochac	22,902	22,618
XI	Tecomulco	12,471	11,746
TOTAL	DEL VALLE	413,188	400,591

Las aguas del Lago de Chalco y Xochimilco (fig. 4) se trasladan por las atarjeas de la ciudad de México al túnel de Tequisquiác, el cual se comunica con el Tajo de Nochistongo y así conectan hidráulicamente la región de Chalco a la vertiente del Golfo de México, por el Río Pánuco, razón por la cual el área de estudio se encuentra localizada en la región hidrológica RH26, llamada Pánuco (fig. 5B).

El ciclo hidrológico se ha visto alterado por la desecación de los lagos, la excesiva explotación de los acuíferos y su contaminación antropogénica. La tala inmoderada y el crecimiento irracional de la mancha urbana, entre otros problemas, han alterado de manera considerable el régimen natural de recarga, aunado, a que por causa de la

REGIONES HIDROLOGICAS



VERTIENTE OCCIDENTAL

- 1 BAJA CALIFORNIA NOROESTE.
- 2 BAJA CALIFORNIA CENTRO-OESTE.
- 3 BAJA CALIFORNIA SUROESTE.
- 4 BAJA CALIFORNIA NORESTE.
- 5 BAJA CALIFORNIA CENTRO-ESTE.
- 6 BAJA CALIFORNIA SURESTE.
- 7 RIO COLORADO.
- 8 SONORA NORTE.
- 9 SONORA SUR.
- 10 SINALOA.
- 11 PRESIDIO-SAN PEDRO.
- 12 LERMA-SANTIAGO.
- 13 HUICICILA.
- 14 AMECA.
- 15 COSTA DE JALISCO.
- 16 ARMERIA - COAHUAYANA.
- 17 COSTA DE MICHOACAN.
- 18 BALSAS.
- 19 COSTA GRANDE.
- 20 COSTA CHICA - RIO VERDE.
- 21 COSTA DE OAXACA.
- 22 TEHUANTEPEC.
- 23 COSTA DE CHIAPAS.

VERTIENTE ORIENTAL

- 24 BRAVO-CONCHOS.
- 25 SAN FERNANDO-SOTO LA MARINA.
- 26 PANUCO.
- 27 TUXPAN-NAUTLA.
- 28 PAPALOAPAN.
- 29 COATZACOALCOS.
- 30 GRIJALVA-USUMACINTA.
- 31 YUCATAN OESTE.
- 32 YUCATAN NORTE.
- 33 YUCATAN ESTE.

VERTIENTE INTERIOR

- 34 CUENCAS CERRADAS DEL NORTE.
- 35 MAPIMI.
- 36 NAZAS-AGUANAVAL.
- 37 EL SALADO.

ESCALA 1:18,000,000.

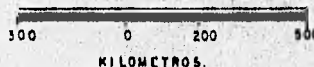


FIGURA 5. B

(INEGI, 1990)

contaminación atmosférica, en los últimos años se ha registrado un aumento en la temperatura de 2°C.

La única corriente de agua en el área, es el Río de la Compañía (Canal General o Gran Canal) y es el drenaje de Chalco y asentamientos circunvecinos, nace en las faldas de la Sierra Nevada y desemboca actualmente en el vaso del Lago de Texcoco, conduce caudales reducidos que no sufren incrementos notables en época de lluvias, debido a los programas de remoción de azolves y remodelación del curso del canal en sus áreas críticas, lo que han logrado minimizar el riesgo de inundaciones en la creciente mancha urbana de Santa Catarina y sus alrededores.

1.6. OROGRAFIA

Los rasgos orográficos más importantes son los cerros: Xolcuango, Tejolote Chico, Tejolote Grande, El Pino, El Elefante y Xico; los volcanes: Guadalupe y La Caldera, de los cuales el primero alcanza la cota más alta en la zona (2,810 m s.n.m), seguido del cerro El Pino (2,720 m s.n.m.) sobre la cota mínima del terreno que es de 2,240 m s.n.m. (fig. 2).

I.7. POBLACION

El área de estudio, por estar en las cercanías del área metropolitana está densamente poblada.

De acuerdo al XI Censo General de Población y Vivienda 1990, el número de habitantes por delegación y/o municipio era de :

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	POBLACION TOTAL (Habs.)
Chalco	282,490
Chicoloapan	57,306
Ixtapaluca	137,357
Nezahualcoyotl	1'256,115
La Paz	134,782
Iztapalapa	1'490,499
Tlahuac	206,700

Al 12 de marzo de 1990, las viviendas particulares con disponibilidad de agua entubada, eran de:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	DISPONE	NO DISPONE	TOTAL
Chalco	15,430	37,858	53,288
Chicoloapan	10,181	509	10,690
Ixtapaluca	18,775	7,530	26,305
Nezahualcoyotl	231,189	5,637	236,826
La Paz	22,087	2,910	24,997
Iztapalapa	276,907	15,990	292,897
Tlahuac	36,930	2,264	39,194

Y las viviendas con energía eléctrica eran de:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	DISPONE	NO DISPONE	TOTAL
Chalco	51,143	2,836	53,979
Chicoloapan	10,528	209	10,737
Ixtapaluca	23,978	2,399	26,377
Nezahualcoyotl	237,572	936	238,508
La Paz	23,829	1,331	25,160
Iztapalapa	290,787	3,951	294,738
Tlahuac	38,494	817	39,311

Las viviendas con disponibilidad de drenaje eran de:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	DISPONE	NO DISPONE	TOTAL
Chalco	12,802	40,306	53,108
Chicoloapan	6,453	4,142	10,595
Ixtapaluca	15,504	10,716	26,220
Nezahualcoyotl	234,024	2,581	236,605
La Paz	20,169	4,794	24,963
Iztapalapa	262,309	30,022	292,331
Tlahuac	30,199	8,840	39,039

La población ocupada por sector de actividad fue de:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	AGRICULTURA, GANADERIA, CAZA Y PERCA	INDUSTRIA MANUFACTURERA	ELECTRICIDAD Y AGUA	CONSTRUCCION
Chalco	4,670	21,931	338	9,244
Chicoloapan	461	4,976	67	1,230
Ixtapaluca	2,244	12,313	242	3,113
Nezahualcoyotl	1,046	106,023	2,698	19,602
La Paz	354	12,908	247	3,026
Iztapalapa	1,601	127,203	3,345	25,705
Tlahuac	2,135	17,148	400	3,589

Población ocupada por sector de actividad (cont.):

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	COMERCIO	TRANSPORTES Y COMUNICACIONES	SERVICIOS FINANCIEROS
Chalco	13,490	4,091	472
Chicoloapan	2,971	1,024	162
Ixtapaluca	5,868	2,832	300
Nezahualcoyotl	89,261	29,742	7,806
La Paz	7,949	2,589	437
Iztapalapa	92,201	33,714	12,625
Tlahuac	9,579	5,184	1,399

Población ocupada por sector de actividad (cont.):

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	ADMINISTRACION PUBLICA	SERVICIOS COMUNALES Y SOCIALES	SERVICIOS PROFESIONALES Y TECNICOS
Chalco	3,306	2,801	1,220
Chicoloapan	715	938	294
Ixtapaluca	1,763	2,675	691
Nezahualcoyotl	23,308	34,088	10,268
La Paz	1,836	2,244	838
Iztapalapa	37,351	46,878	11,886
Tlahuac	5,098	5,999	1,274

Población ocupada por sector de actividad (cont.):

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	SERVICIOS RESTAURANTES Y HOTELES	SERVICIOS PERSONALES Y MANTENIMIENTO	NO ESPECIFICADO
Chalco	2,752	9,222	2,721
Chicoloapan	558	1,741	389
Ixtapaluca	1,231	4,154	918
Nezahualcoyotl	19,087	42,927	12,979
La Paz	1,612	4,297	1,091
Iztapalapa	18,218	54,269	19,098
Tlahuac	1,522	6,006	1,738

La población de 15 años en adelante con condiciones de alfabetismo, hasta el 12 de marzo de 1990, fue de:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	ALFABETAS	ANALFABETAS	NO ESPECIFICADO	TOTAL
Chalco	140,771	16,830	291	157,892
Chicoloapan	30,677	2,692	63	33,432
Ixtapaluca	73,600	6,845	298	80,743
Nezahualcoyotl	773,371	43,975	825	818,171
La Paz	75,930	5,964	98	82,022
Iztapalapa	920,713	49,169	1,154	971,036
Tlahuac	123,203	7,328	214	130,745

Para 1991, los ejidos, comunidades agrarias y superficie de labor por disponibilidad de agua fue:

MUNICIPIO Y/O DELEGACION	EJIDOS Y COMUNIDADES AGRARIAS (riego y temporal)	SUPERFICIE DE LABOR (riego y temporal)
Chalco	15	5'635,000
Chicoloapan	1	657,000
Ixtapaluca	12	8'458,000
Nezahualcoyotl	-	-
La Paz	2	985,300
Iztapalapa	-	-
Tlahuac	7	2,632

Hasta el año de 1993, los cultivos agrícolas más desarrollados fueron: avena forrajera, maíz de grano, nopal, trigo, cebada, frijol, maíz forrajero, papa, haba verde, jitomate y pasto; de estos cultivos los más sembrados son la avena forrajera y el maíz de grano.

Los cultivos frutícolas son: durazno, ciruela y pera; la flora silvestre es de encino y pino.

1.8. METODO DE ESTUDIO

Para desarrollar el presente estudio, se realizaron una serie de actividades que permitieron cumplir con los objetivos establecidos; éstas comprendieron desde la recopilación y análisis de información, actividades de campo y actividades de gabinete, hasta la elaboración del informe final; estas etapas se describen brevemente a continuación:

1.8.1. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA Y ANALISIS DE INFORMACION

Como actividad inicial se recopiló información geológica, geofísica e hidrogeológica de obras de captación existentes en la zona; esto permitió tener un conocimiento preliminar del área, así como programar y planificar las actividades siguientes.

Entre la información analizada se encuentra la cartografía del Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI), consultándose cartas topográficas a escala 1:50,000 y 1:250,000; además se analizaron diversas publicaciones como estudios, tesis, boletines, etc., realizados en el área de estudio por instituciones públicas y privadas.

El área de estudio ha sido ampliamente estudiada por diferentes autores con distintos enfoques; entre los estudios más importantes se encuentran los trabajos de Mooser, F. en 1972 y 1975 y Demant, A. en 1976 y 1978 en los que tratan de definir los orígenes del Eje Neovolcánico Transmexicano, así como las características petrográficas, estructurales y los problemas de su interpretación. En 1977 Urrutia, J. y del Castillo, C., desarrollaron un modelo para explicar el origen del Eje Neovolcánico Transmexicano; Lesser, J. en 1984 realiza un trabajo sobre la actividad geohidrológica del Valle de México. En ese mismo año, Lugo, J. hace estudios importantes sobre la geomorfología del Sur de la Cuenca de México, enfocando principalmente su trabajo a la Sierra de Santa Catarina. Rodríguez et al. durante 1978, 1989, 1990 y 1992, presentan trabajos de exploración geohidrológica sobre la zona metropolitana y en especial la subcuenca de Chalco. En 1989 Vázquez y Jaimes hacen una síntesis cartográfica sobre la geología del valle de México, dándole un enfoque estratigráfico. González, T. en 1992 realiza su tesis doctoral sobre la subcuenca de Chalco, analizando el relleno sanitario de Santa Catarina y su impacto geohidrológico. Bellia et al, en ese mismo año hace estudios sobre la cuenca hidrográfica de Chalco; desde el punto de vista estratigráfico, tomando en cuenta las permeabilidades de cada una de las formaciones rocosas que afloran en el Valle de México. Chateau. M. en 1993 lleva a cabo un estudio en el acuífero de la subcuenca de Chalco, aplicando métodos geofísicos.

1.8.2. VERIFICACION GEOLOGICA E HIDROLOGICA

Para conocer el marco geológico de la zona, se realizó la verificación de las unidades litológicas que afloran, determinando su relación estratigráfica y las características físicas de las mismas, como son porosidad, grado de fracturamiento, así como otras que permitieran evaluar de forma cualitativa la permeabilidad de las unidades.

1.8.3. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

Esta actividad tuvo por objetivo conocer las características y condiciones de las obras de captación que existen en la zona, de esta forma se realizó un censo de aprovechamientos, de las cuales la mayoría corresponden a pozos. A estos aprovechamientos se les investigaron sus datos constructivos y sus caudales de extracción, además de medir la posición de sus niveles piezométricos. En el plano 2 hidrogeológico se localizan los aprovechamientos visitados y en la tabla 1.1 se comentan las características de aquellos en los que se pudieron tomar datos.

TABLA I.1. CENSO DE OBRAS DE CAPTACION

NUM. DE OBRA	COTA DEL BROCAL (m)	PROF. NIVEL DINAMICO (m)	ELEVAC. NIVEL DINAMICO (m)	PROF. NIVEL ESTATICO (m)	ELEVAC. NIVEL ESTATICO (m)	pH	CONDUCT. ELECT. (µS/cm)	TEMP. (°C)	ALCALINIDAD (ppm)
TX 306	2230.339	35.340	2195.059	-	-	9.90	900	24.6	-
TX 307	2230.205	48.820	2185.385	-	-	9.30	897	23.8	152
TX 308	-	-	-	-	2186.793	9.95	253	23.6	-
TX 309	2232.138	40.120	2192.018	-	-	9.91	352	27.7	180
TX 310	2231.075	41.330	2189.745	-	-	9.60	311	23.3	174
TX 312	2236.854	-	-	12.49	2194.364	-	-	-	-
TX 313	2238.179	42.563	2195.616	-	-	9.06	272	23.6	150
TX 316	2243.814	45.520	2198.249	-	2200.342	9.20	263	24.9	136
TX 317	2244.630	40.260	2204.730	-	2202.781	9.00	266	23.1	130
TX 324	2245.424	27.790	2217.634	-	-	9.50	280	-	106
TX 341	2234.354	31.750	2202.604	-	-	9.22	266	30.0	-
TX 342	2235.462	36.730	2198.732	-	-	9.54	218	25.2	-
TX 343	2235.640	-	-	31.00	2204.640	-	-	-	-
TX 344	2234.934	38.110	2198.824	-	-	9.33	258	26.6	-
A-115 CBTA	2251.164	-	-	29.01	2222.154	-	-	-	-
LA ASUNC.	2241.631	-	-	36.46	2202.171	-	-	-	-
SAN ISIDRO	2243.109	-	-	36.62	2206.489	-	-	-	-
AO 229	2244.729	28.310	2216.419	-	-	10.0	486	19.3	-

(Datos tomados por Estudios y Proyectos Moro, 1992)

TABLA I.1 (CONT.), CENSO DE OBRAS DE CAPTACION

NUM. DE OBRA	COTA DEL BROCAL (m)	PROF. NIVEL DINAMICO (m)	ELEVAC. NIVEL DINAMICO (m)	PROF. NIVEL ESTATICO (m)	ELEVAC. NIVEL ESTATICO (m)	pH	CONDUC. ELECT. (µS/cm)	TEMP. (°C)	ALCALINIDAD (ppm)
1	2237.679	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2234.910	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2237.283	-	-	21.44	2215.843	-	-	-	-
4	2234.735	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2235.473	-	-	23.71	2211.763	-	-	-	-
6	2234.244	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2234.328	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2236.035	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2235.581	-	-	29.45	2206.131	-	-	-	-
10	2235.595	-	-	29.18	2206.415	-	-	-	-
11	2234.702	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2233.728	-	-	25.63	2208.098	-	-	-	-
13	2234.100	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2234.921	-	-	-	-	-	-	-	-
SC1	2244.928	-	-	28.33	2216.652	-	-	-	-
SC2	2551.710	-	-	35.13	2516.58	-	-	-	-
A 153	2232.807	-	-	35.13	2197.667	-	-	-	-

(Datos tomados por Estudios y Proyectos Moro, 1992)

TABLA I.1 (CONT.), CENSO DE OBRAS DE CAPTACION

NUM. DE OBRA	COTA DEL BROCAL (m)	PROF. DEL NIVEL DINAMICO (m)	ELEVAC. DEL NIVEL DINAMICO (m)	PROF. DEL NIVEL ESTATICO (m)	ELEVAC. DEL NIVEL ESTATICO (m)	pH	CONDUCT. ELECTRICA (μ S/cm)	TEMP. ($^{\circ}$ C)	ALCALINIDAD
M1	2242.528	-	-	39.00	2203.528	-	-	-	-
M2	2317.665	-	-	96.85	2220.815	-	-	-	-
G1	2278.039	-	-	59.30	2218.739	-	-	-	-
G2	2243.506	-	-	27.80	2215.706	-	-	-	-

(Datos tomados por Estudios y Proyectos Moro, 1992)

1.8.4. NIVELACION TOPOGRAFICA DE BROCALES

Con objeto de poder referir al nivel del mar la profundidad de los niveles piezométricos, medidos durante la etapa de censo, se nivelaron topográficamente los brocales de algunos de los pozos; con esta información, posteriormente se estableció la carga hidráulica en diferentes partes del acuífero y se trazó una red de flujo que permitió conocer la forma en que el agua subterránea se mueve.

1.8.5. REALIZACION DE SONDEOS GEOFISICOS

Para complementar el conocimiento de la geometría y características eléctricas de los materiales en el subsuelo, en las zonas de mayor interés hidrogeológico, se programó la realización de 26 sondeos eléctricos verticales (SEV's), distribuidos en 9 líneas de sección. El método empleado fue el de resistividad, utilizando un arreglo electródico tipo Schlumberger.

Estos sondeos se realizaron en los alrededores del relleno sanitario y su localización se estableció en base al modelo geológico definido previamente.

1.8.6. MEDICION DE LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA

Para conocer las características físico-químicas del agua en campo, se determinaron propiedades tales como conductividad eléctrica (CE), pH, temperatura y alcalinidad, parámetros que permitieron apoyar la hipótesis de funcionamiento hidrogeológico.

1.8.7. INTEGRACION DE RESULTADOS

Una vez compilada y analizada la información de campo y gabinete, se procedió a la integración de los resultados, para lo cual se elaboró:

- El plano base topográfico, obtenido de las cartas topográficas del INEGI.
- Un plano geológico (plano 1), elaborado a partir de la compilación geológicos realizados en la zona por diversos autores y con las observaciones de campo efectuadas durante la etapa de verificación geológica; en este plano se ubicaron también los sitios donde se efectuaron los sondeos eléctricos verticales (SEV's).
- Un plano hidrogeológico (plano 2), donde se muestra la distribución y relación que guardan las diferentes unidades hidrogeológicas.
- Un mapa con ubicación de los SEV's y sus secciones, producto del análisis geológico-estructural, geofísico e hidrogeológico.

Con todo lo anterior se procedió a elaborar el informe final, donde se plasmó la información recabada en campo y gabinete, así como las conclusiones y recomendaciones necesarias para dar solución a los objetivos que dieron origen al presente estudio.

II. GEOLOGIA

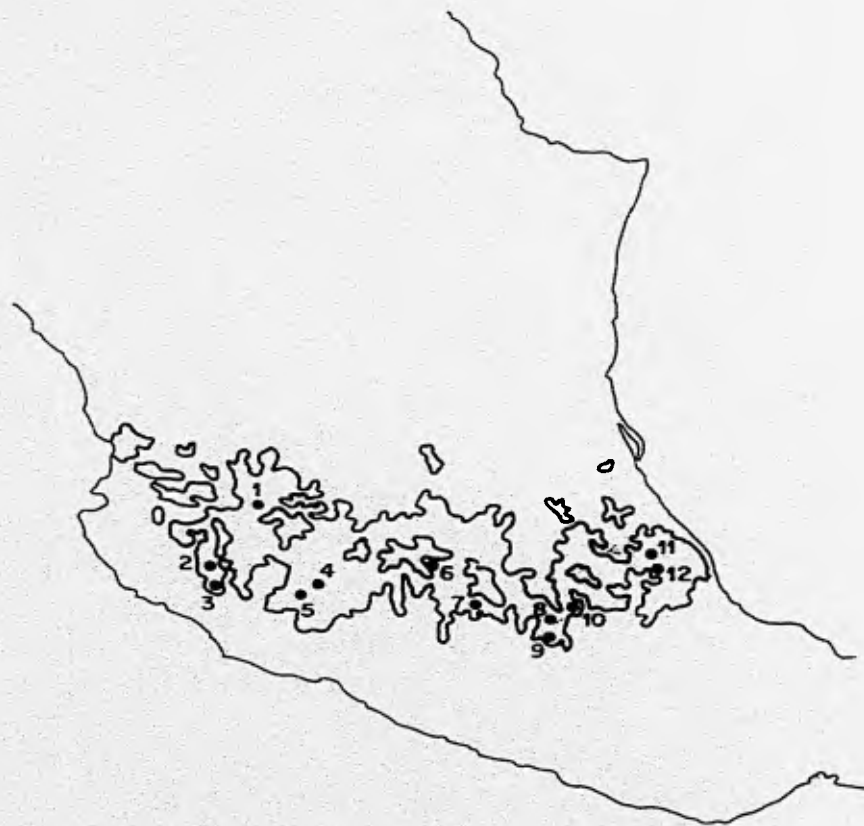
II.1. GEOLOGIA REGIONAL

Dentro del contexto regional, el área de estudio se ubica en la parte meridional de la Cuenca del Valle de México, donde ésta última, ocupa la parte central del Eje Neovolcánico Transmexicano (ENT).

El ENT es una estructura volcánica que cruza México entre los paralelos 18° a 22° latitud N (fig. 5), su extensión es casi de 900 km, con un ancho que varía de 70 a 180 km, desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México. Se extiende con una dirección WNW-ESE. Se caracteriza por un sistema de grandes fracturas ortogonales con dirección NW y NE que controlan el ascenso de magma a la corteza (fig. 7A), donde se forman los primeros fenómenos volcánicos que dan origen a las fosas y pilares a lo largo de toda su extensión. En esta franja volcánica se encuentran los grandes volcanes del país y cientos de pequeños conos cineríticos, calderas, cráteres de explosión asociados a coladas lávicas y depósitos piroclásticos (Bellia et al., 1992).

El vulcanismo que conforma el ENT es de edad Plio-Cuaternaria, está compuesto primordialmente por vulcanitas del tipo calco-alcalinas y alcalinas. Por sus características vulcanológicas y petrográficas, se pueden diferenciar:

a) Los grandes estratovolcanes, los cuales constituyen las cimas más elevadas del país, su orientación es N-S y son: Nevado y Volcán de Colima (al Poniente), Nevado de Toluca, Popocatepetl, Iztaccihuatl y La Malinche (al centro) y el Citlaltepetl y Cofre de Perote (al Oriente); cada uno de estos volcanes representa un volumen total de más de 100 Km³ de material lávico, emitido por derrames, emisiones de nubes ardientes y erupciones violentas.



- 1 CALDERA DE LA PRIMAVERA
- 2 NEVADO DE COLIMA
- 3 VOLCAN DE COLIMA
- 4 VOLCAN PARICUTIN
- 5 CERRO TANCITARA
- 6 LOS AZUFRES - SIERRA DE SAN ANDRES
- 7 NEVADO DE TDLUCA
- 8 IZTACCIHUATL
- 9 POPOCATEPETL
- 10 VOLCAN LA MALINCHE
- 11 PICO DE ORIZABA
- 12 COFRE DE PEROTE

FIG No. 5 EJE NEVOLCANICO TRANSMEXICANO

(INEGI-UNAM, 1984)

b) Los Pequeños volcanes o volcanes monogenéticos, los cuales están alineados por direcciones tectónicas regionales NW-SE en la fosa Tepic-Chapala y NE-SW al Oriente de Chapala; así como en Michoacán, zona donde se concentró la actividad volcánica alcanzando una franja de 120 a 150 Km de ancho (ejemplo: Volcán Parícutin, Volcán Tancitaro, etc.); están constituidos generalmente, por eyecciones piroclásticas alrededor del conducto y derrames de lava de poca extensión de tipo basáltico, basáltico-andesítico y andesitas.

c) Los productos riolíticos, son muy escasos y parecen ser más abundantes en la parte Occidental del ENT, entre los cuales tenemos caldera La Primavera en Jalisco y Los Azufres en Michoacán (Demant, 1978).

La Cuenca del Valle de México (fig. 5A) es una cuenca endorreica de carácter lacustre, desecada artificialmente y que se formó como resultado de la obstrucción del Antiguo Valle de México debido a la actividad volcánica Cuaternaria de tipo andesítico-basáltica que formó la Sierra Chichinautzin al S de la ciudad de México. Esta cuenca tiene un desarrollo en dirección NNE-SSW y está limitada al N por la Sierra de Pachuca, al S por la Sierra Chichinautzin, al E por la Sierra Río Frío y Sierra Nevada y al W por la Sierra Las Cruces.

II.2. GEOLOGIA LOCAL

Dentro del contexto local, la zona de estudio está ubicada al SE de la ciudad de México, en la porción meridional de la Cuenca del Valle de México y a su vez en la subcuenca de Chalco.

La geología superficial en el área de estudio, consiste básicamente de rocas volcánicas y sedimentos de origen lacustre y aluvial.

La actividad volcánica dio origen a volcanes monogenéticos, poligenéticos, anillos y conos tobáceos, domos, etc. y una notable cantidad de productos derivados de esta actividad, tales como: cenizas volcánicas, lapilli, coladas de lava, etc..

Los principales aparatos volcánicos en la zona son: Volcán Guadalupe, Volcán La Caldera, Cerro El Pino, Cerro Tejolote Grande, Cerro Tejolote Chico, Cerro Xico Viejo y Cerro El Elefante; todos de diferente edad y por la naturaleza de los productos expulsados.

Los depósitos aluviales provienen de las laderas de las sierras y han sido transportados por corrientes fluviales hacia el centro de la subcuenca.

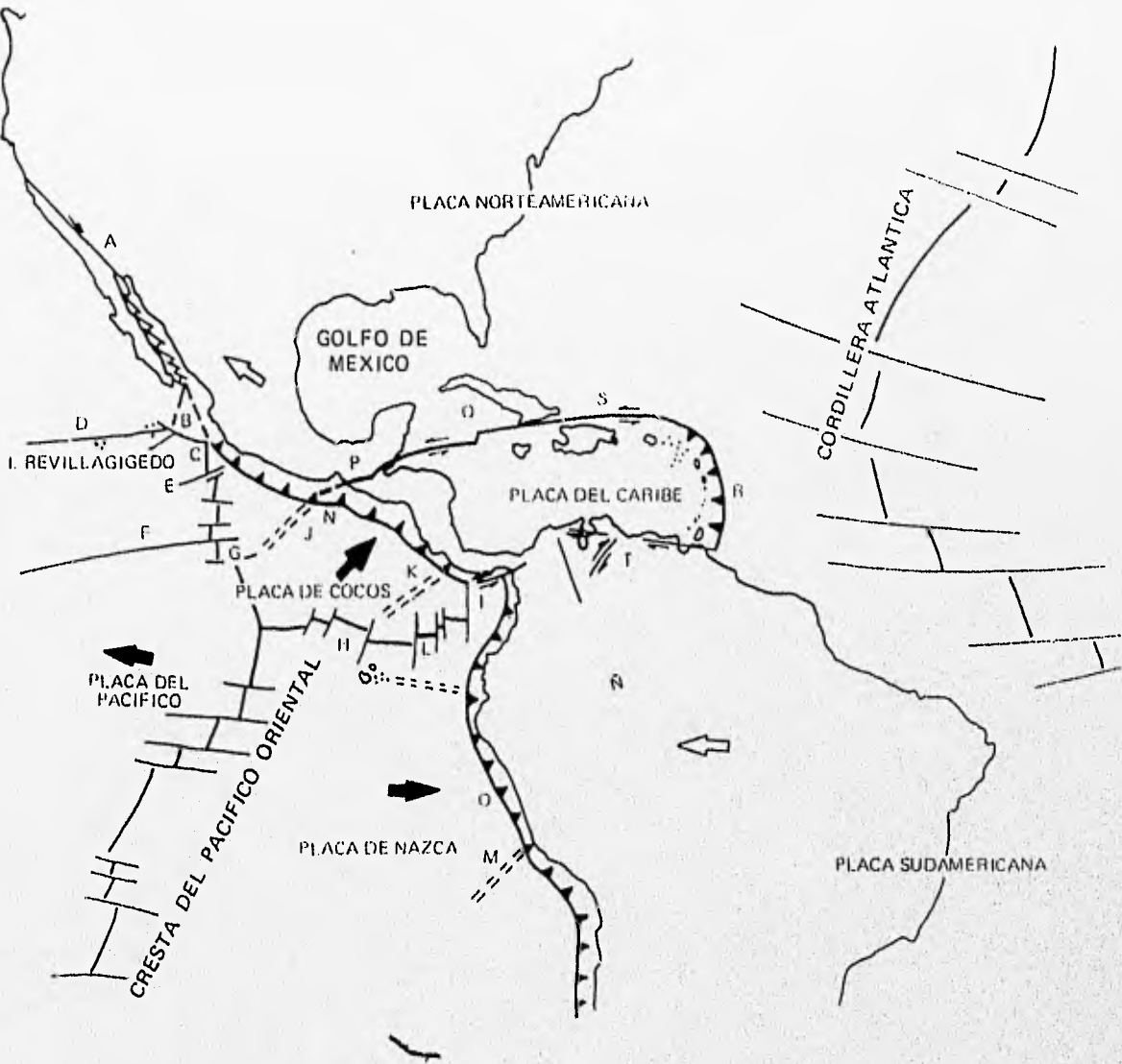
Los depósitos lacustres sobreyacen a los aluviones interdigitándose con ellos en profundidad, y superficialmente ocupan una extensa planicie en las porciones Central y Septentrional de la Subcuenca de Chalco.

II.3. TECTONICA

La Cuenca del Valle de México ocupa el área centro-sur de la mitad oriental del Eje Neovolcánico Transmexicano.

El origen del ENT, se atribuye principalmente a la subducción de la activa Placa de Cocos debajo de la Placa Norteamericana a lo largo de la Fosa de Acapulco, que a nivel de la astenósfera sufre fusión parcial y origina los magmas del eje (Mooser, 1975; Urrutia y del Castillo, 1977 y Demant, 1978) (fig. 6). Esta estructura corta los ejes a lo largo de las cordilleras Meso-Cenozoicas y descansan en discordancia angular sobre éstas, estos paquetes fueron deformados por fases tectogénicas responsables de su construcción.

El fenómeno de subducción entre estas dos placas sigue un factor de movimiento orientado al NW con una pendiente promedio de 15° a 20° aproximadamente, una



- A Sistema de Fracturas de San Andrés-Golfo de California
- B Fractura de Rivera
- C Rivera Triple Junction
- D Fractura de Clarión
- E Fractura de Orozco
- F Fractura de Siqueiros
- G Fractura de Chipperton
- H Cresta de los Galápagos
- I Fractura de Panamá
- J Cresta de Tehuantepec

- K Cresta de Cocos
- L Cresta de Carnegie
- M Cresta de Nazca
- N Fosa meso-americana
- O Fosa Perú-Chile
- P Fallas Polochic-Motagua
- Q Falla Caymán o Bartlett
- R Zona de subducción de las Pequeñas Antillas
- S Fosa de Puerto Rico
- T Fallas Oca - El Pilar

(Demant, 1978)

velocidad hipotética de unos 6 cm/año y llega a una profundidad de 75 a 80 Km bajo el límite meridional del ENT.

La convergencia de estas dos placas, da como resultado un vector de movimiento, con esfuerzo compresivo cuya orientación es cercana a N45°E y no sólo produce el cabalgamiento de la Placa Continental sobre la Placa Oceánica, sino también la acumulación de esfuerzos tectónicos-compresivos dentro de la Placa Continental.

Con base en estudios del bosquejo tectónico entre la costa de Guerrero y la Cuenca de México donde se consideran a fallas y fracturas con lineamientos predominantes en orientación NE-SW (para los esfuerzos compresivos) respecto a la orientación NW-SE (para los esfuerzos tensionales), se reafirma un régimen regional de cizallamiento llamado Tenochtitlan (De Cserna, 1978) y constituye un rasgo geológico-tectónico fundamental para la sismicidad que afecta la zona de la ciudad de México (fig. 7A).

II.4.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La Cuenca de México tiene un predominio de lineamiento tectónico orientado NE-SW más que los lineamientos NW-SE, tendencias parecidas a las determinadas por métodos gravimétricos (De Cserna, 1988); las 14 fallas mayores que atraviesan la cuenca de México y que están relacionadas con la orientación NE-SW (zona de cizallamiento Tenochtitlan) están conectadas con el proceso de subducción oblicuo de la Placa de Cocos con dirección N35°-45°E , bajo la Placa Norteamericana, a lo largo de la fosa Mesoamericana con dirección N70°W aproximadamente; la orientación resultante de los ejes de esfuerzos máximos sería de NE-SW para los compresivos y NW-SE para los tensionales (Bellia et al, 1992).

INTERPRETACION DE LA IMAGEN DE SATELITE DEL SUR DE LA CUENCA DE MEXICO



SIMBOLOGIA

- CONTACTO LITOLÓGICO _____
- LINEAMIENTO IMAGEN DE SATELITE _____
- LINEAMIENTO (RIDE COMO PRODUCTIVO) _____
- BAHIO ORIENTADO _____
- BAHIO ORIENTADO _____
- ESTRADOVELTA _____
- COMO PRODUCTIVO _____
- CALERA _____
- DIRECCION DE FLUJO LUNCO _____

FIGURA 3A

(Estudios y Proyectos Moro, 1992)

Se han identificado una serie de volcanes monogenéticos Cuaternarios, cuya distribución está relacionada con las principales orientaciones de las fracturas, resaltando el predominio de las orientaciones en direcciones NE-SW (De Cserna, 1988).

Se reconoce una falla de orientación N75°-80°E que controla la Sierra Santa Catarina y otra N45°E sobre la que se orienta el Volcán Guadalupe (De Cserna et al, 1987); estos autores consideran que la primera falla sea de tensión y que se haya desarrollado por deformación debida a rotación producida por las fallas NE-SW de desplazamiento horizontal siniestro.

El Cerro El Pino, con dos conos adventicios (El Tejolote Grande y El Tejolote Chico) definen una orientación N65°E con el cono principal, esta orientación pudiera guardar una relación semejante a la Sierra Santa Catarina, con una falla orientada NE-SW.

El Cerro Xico, al poniente de Chalco, sus dos conos tienen orientación de esfuerzo tectónico N50°E y pudiera estar ubicado sobre una falla NE-SW que por falta de estudios a detalle no ha sido detectada.

II.4.1. ANALISIS DE FRACTURAMIENTO

Esta actividad tuvo por objetivo definir si el fracturamiento presente en las rocas antes descritas, presentaba una orientación preferencial, lo cual permitiría conocer la formación y dirección en que el agua subterránea se mueve; de esta manera se seleccionaron una serie de sitios en donde se levantaron estaciones estructurales, en los cuales se hicieron mediciones de las características de las fracturas, para analizar en conjunto el dominio de las mismas y definir sus tendencias y orientaciones. A continuación se mencionan los resultados obtenidos con las estaciones, cuya distribución se muestra en el plano geológico (plano 1).

II.4.1.1. Estación La Caldera

Se ubica entre la carretera federal y la autopista México-Puebla; en este caso se obtuvo una tendencia general de fracturamiento de $N75^{\circ}W$, con apertura media de 1 a 2 mm, superficies rugosas y escarpadas, a veces llenas de material aluvial; sobre este afloramiento se encuentra ubicado actualmente un tiradero clandestino.

II.4.1.2. Estación El Pino

Se localiza en las inmediaciones del Volcán El Pino, sobre basaltos; en este sitio se realizaron dos estaciones estructurales, las cuales arrojaron tendencias preferenciales $N45^{\circ}W$ y $N30^{\circ}W$; las superficies de las fracturas son lisas y en ocasiones escarpadas, con aperturas que van de 2 a 6 cm, rellenas con material aluvial.

Del análisis del fracturamiento se pudo determinar que las rocas presentan buenas condiciones de permeabilidad, lo que permite que sean excelentes zonas de recarga en superficie y buenos acuíferos en el subsuelo; sin embargo no se puede establecer una trayectoria de flujo definida, debido a que el fracturamiento existente es más bien provocado por enfriamiento y no por tectonismo, teniéndose por lo tanto un flujo errático (sin dirección preferencial definida), que aprovecha tanto de zonas de debilidad, como estructuras volcánicas primarias y pseudoestratificación.

II.4.1.3. Estación Las Vías

El afloramiento donde se tomaron las características de fracturamiento, está localizada en el corte que se realizó para la instalación de las vías de ferrocarril, en las inmediaciones del tiradero de Santa Catarina, donde se presenta una asociación de derrames y brechas volcánicas; estas últimas presentan bloques heterogéneos, mal compactados y seleccionados, mientras que los derrames presentan estructura vesicular,

tubos de explosión y estructuras de flujo; en dicho afloramiento se midieron un total de 38 fracturas, cuyas orientaciones preferenciales fueron de N25°W, N60°W, N65°W y N35°W, la apertura media es de 2 mm y las superficies son rugosas. De acuerdo a las características antes mencionadas, el movimiento de fluidos en estas rocas seguiría las direcciones antes mencionadas.

II.4.1.4. Estación Corte de la carretera

Esta estación se localiza sobre el corte de la autopista México-Puebla, enfrente de la localidad conocida como La Granja; presenta las mismas características litológicas del afloramiento anterior, pero el fracturamiento manifiesta una tendencia mejor definida, orientándose al N5°E y N25°E; sus aberturas son del orden de 2 mm, pero en ocasiones se encuentran cerradas; sus superficies son lisas y escarpadas; la longitud de las fracturas varía de continua a subcontinua. Es importante hacer notar que en este afloramiento, en el contacto entre los basaltos y brechas volcánicas, se manifiestan emanaciones de biogás, el cual debe seguir la tendencia del fracturamiento mencionado con anterioridad.

II.4.2. FALLAS DEL PLIOCUATERNARIO

Existe una serie de fallas normales que cortan las formaciones del Mioceno, Plioceno y Cuaternario, estas tienen una longitud promedio de 4 km y desplazamientos de unos cuantos centímetros a varias decenas de metros, buzando en direcciones indefinidas y tienen un ángulo de echado que varía entre 60° y 80°; algunas forman pequeños grabens, el rumbo es preferentemente E-W, pero se observan fallas dirigidas tanto al NW como al NE y en otras partes muestran arreglos conjugados definidos (Vázquez y Jaimes, 1989).

Se infieren otras fallas normales sepultadas, con base en claros alineamientos de conos cineríticos monogénicos cuaternarios de las Formaciones Chichinautzín y El Pino (por ejemplo, La Sierra Santa Catarina con el Volcán El Pino).

La dirección de desplazamiento de estas fallas normales sepultadas, se hizo correlacionando la geología superficial y tomando en cuenta el bajo gravimétrico orientado W-E a lo largo de la planicie de Chalco (fig. 7A), implica la existencia de un importante relleno granular; en consecuencia, se intuye la presencia de un graben que se ha llamado Graben de Chalco.

Otro método empleado para interpretar las fallas sepultadas se aplicó en función de las características en la distribución de algunos eventos sísmicos, los cuales tienden a concentrarse en las zonas de fallas normales sepultadas propuestas e inclusive en zonas de fallas aflorantes lo cual muy probablemente se relaciona con el hidromagmatismo que originó el cono-anillo de toba Cerro Xico (Sheridan, 1983).

II.5. GEOLOGIA HISTORICA

Con el fin de entender como se llevaron a cabo los diferentes fenómenos geológicos en el área, es necesario describir la evolución geológica, para así, conocer en tiempo y espacio, la distribución de los materiales permeables e impermeables y su implicación en el modelo de funcionamiento hidrológico.

Las rocas más antiguas que se detectaron en sondeos de la Cuenca de México (Fries, 1960), son calizas depositadas en mares someros de edad Cretácico Inferior (Formaciones Morelos y El Doctor) y afloran en las regiones colindantes (estados de Morelos e Hidalgo), además de calizas, lutitas-areniscas del Cretácico Superior (Formaciones: Cuautla y Mexcala).

A finales del Cretácico y principios del Terciario, esta secuencia calcareo-arcillosa, sufrió plegamiento como consecuencia de la Orogenia Laramide (Vázquez y Jaimes, 1989).

En el Terciario (Eoceno-Medio), el granito Colotepec intrusión la Formación Xochicalco en el núcleo del anticlinal que lleva su nombre.

También, en el Terciario (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano) finaliza dicho plegamiento y acontece un fallamiento normal conjugado con desplazamiento lateral derecho, contemporánea con sedimentación clástica continental tipo molasa y con efusiones volcánicas (Grupo Balsas), yace discordantemente a los sedimentos cretácicos y aflora en el estado de Hidalgo.

En el Terciario (Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano) una secuencia volcánica del tipo andesítico-riodacítico sobreyace discordantemente a los depósitos continentales más antiguos, esta secuencia volcánica tiene relación con el arco magmático producto del proceso tectónico de subducción a lo largo de la costa occidental de México y contemporáneo con las ignimbritas de la Sierra Madre Occidental (Damon, 1981).

El terreno formado por las rocas volcánicas oligo-miocénicas quedó profundamente erosionado antes de que las siguientes manifestaciones volcánicas aparecieran a mediados y finales del Mioceno (Cerro El Elefante), estos terrenos representan, en general, el sustrato volcánico sobre el cual se edificaron las secuencias miocénicas y representan el inicio de la actividad magmática del Eje Neovolcánico Transmexicano.

Las secuencias pliocénicas se inician con piroclastos que cubren en discordancia erosional los terrenos más antiguos, en el área de estudio, la secuencia en el subsuelo data del Plioceno Superior y comprende depósitos piroclásticos y clásticos de tipo aluvial

acumulados en fosas tectónicas (graben de Chalco) con espesores que disminuyen hacia los márgenes y se presentan en interdigitaciones entre depósitos clásticos y volcánicos, están cubiertos por aluvión cuaternario.

El vulcanismo cuaternario es de tipo monogenético (conos cineríticos y domos con coladas lávicas) y la composición es de basáltica a dacítica, en el área es representada por las Formaciones el Pino y Chichinautzin.

El régimen endorreico de la cuenca de México y la consecuente sedimentación lacustre del Pleistoceno-Holoceno se originaron como consecuencia del intenso vulcanismo que formó en esta época la Sierra Chichinautzin.

II.6. ESTRATIGRAFIA

La sucesión litoestratigráfica que aflora en la zona (fig. 8) y que también toma en cuenta los datos del subsuelo tomado de las principales perforaciones hechas en éstas, quedó de la siguiente manera (Vázquez y Jaimes, 1989):

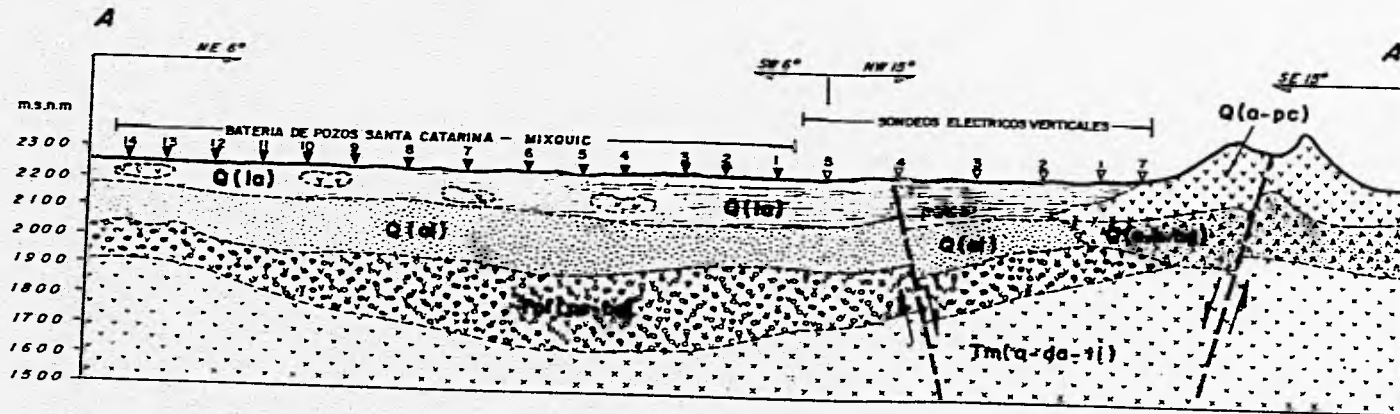
II.6.1. TERCIARIO

Andesita-dacita-toba Intermedia, Tm(a-da-ti). Sucesión de lavas andesíticas, dacíticas, tobas andesíticas y en algunos lugares interestratificados con brechas volcánicas, las coladas de lavas se encuentran muy fracturadas lo que origina una permeabilidad media. Aflora en el área de Tlapacoya, forma el Cerro El Elefante y su presencia en el subsuelo se basa en la información proporcionada por los cortes litológicos en pozos. De acuerdo a fechamientos isotópicos se le asignó un rango de edad Mioceno Medio a Mioceno Tardío. Cubre en discordancia a rocas volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Superior, Grupo Balsas o a rocas cretácicas; es cubierta en discordancia por unidades Pliocénicas y en

FIG. No. 8 CARTA CRONOLITOGRAFICA.

ERA TEMA	PERIODO	EPOCA	AREA DE ESTUDIO	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	LACUSTRE ANDESITA PIROCLASTICO	
		PLEISTOCENO	ALUVION ANDESITA BASALTO AGLOMERADO	
	Terciario	NEOGENO	PLIOCENO	PIROCLASTICO CONGLOMERADO
			MIOCENO	ANDESITA-DACITA - TOBA INTERMEDIA
		PALEOGENO	OLIGOCENO	?
			EOCENO	?
	PALEOCENO	?		
	MESOZOICO	CRETACICO	TARDIO	?
			TEMPRANO	?

SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA A - A'



CUATERNARIO	Holoceno		LACUSTRE ALUVION ANDESITA-PIROCLASTICO
	Pleistoceno		ANDESITA-BASALTO-AGLOMERADO
TERCIARIO	Plioceno		PIROCLASTICO-CONGLOMERADO
	Mioceno		ANDESITA-DACITA-TOBA INTERMEDIA

ocasiones por unidades del Cuaternario. Este conjunto de rocas extrusivas representa el inicio de la actividad del ENT (Damon, 1981).

Piroclástico-conglomerado, Tpl(pc-cg). Rocas piroclásticas como tobas, brechas volcánicas y lapillis pumílicos interdigitados localmente con horizontes de conglomerados, arenas y arcillas. Su origen está relacionado con la actividad fluvial y piroclástica del Plioceno, que se acumularon en paleocuencas o fosas tectónicas (graben de Chalco) y rellenando amplios valles. Está cubierto discordantemente por aluvión cuaternario y descansa rellenando unidades volcánicas oligo-miocénicas y miocénicas. Su espesor es del orden de 750 m. Por sus relaciones estratigráficas descritas, sugieren una edad del Plioceno para estos depósitos.

II.6.2. CUATERNARIO

Andesita-basalto-aglomerado, Q(a-b-ag). Constituye secuencias de coladas lávicas andesítico-basáltico y traquíticas con fracturamiento de moderado a intenso, tobas limo-arcillosas y con intercalaciones delgadas de tefra no consolidada, formadas por cenizas cristalinas y vítreas, lapillis lílicos y escoria tamaño lapilli (volcanismo estromboliano o mixto). Posee una permeabilidad media. Yace discordantemente sobre unidades volcánica terciarias y está cubierta por la Formación Chichinautzin. A estas rocas volcánicas máficas principalmente, se les asigna el nombre de **Formación El Pino**; se reconoce en el subsuelo y en el Volcán El Pino, su expresión en los conos cineríticos terminales, volcanes de escudo y amplias coladas lávicas principalmente en bloques. Su espesor máximo es del orden de 750 m. Por sus relaciones estratigráficas y pruebas de magnetismo remanente inverso se le asigna una edad del Pleistoceno.

Andesita-piroclástico, Q(a-pc). Esta unidad está formada en su mayoría por lavas andesítico-basálticas y andesíticas, éstas son extensas, vesiculares, masivas o lajeadas y en ocasiones alternadas con tobas y capas delgadas de material piroclástico en donde

predominan las cenizas, su permeabilidad es de alta a media debido a su fracturamiento intenso; forma estratovolcanes y conos cineríticos. Sobreyacen en discordancia a las unidades del Terciario y Formación El Pino y se encuentra interdigitada con depósitos lacustres y aluvión. Se define como **Formación Chichinautzin** (Martín del Pozzo, 1982), aflora en el subsuelo y forma el Volcán Guadalupe, Volcán La Caldera y Cerro Xico. Su espesor varía, no obstante el máximo espesor es de 1800 m (Fries, 1960). Se le asigna una edad mediante fechamientos isotópicos del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

Depósitos aluviales, Q(al). Material clástico fluvial (grava, arena, limo y arcilla) poco consolidado, contiene localmente tierras diatomáceas, turba y travertino, con interestratificaciones de tobas de grano fino y lapílicas. Esta unidad se interdigita con las formaciones volcánicas de la misma edad (sedimentos lacustres). Debido a sus características posee una permeabilidad de media a alta. Sobreyace en discordancia con depósitos piroclásticos y clásticos pliocénicos. Aflora formando llanuras aluviales y se encuentra en grandes acumulaciones rellenando los bajos morfológicos, así como las depresiones tectónicas como el graben de Chalco. Su espesor es de alrededor de 500 m y se debe al bloqueo del desagüe causado por el emplazamiento de derrames lávicos y también por fallamientos normales del Cuaternario que favorecieron los cambios en la dirección y velocidad de los cauces fluviales con la consecuente distribución variable del tamaño de grano en estos depósitos (Vázquez y Jaimes, 1989). Su espesor adelgaza hacia los márgenes de la llanura. Por su relación estratigráfica se le propone una edad del Pleistoceno al Holoceno (Fries, 1962).

Depósitos lacustres, Q(la). Está formado por arcillas lacustres con intercalaciones de sedimentos clásticos (arena y limo), con lentes de piroclastos (ceniza, pómez y lapillis) e interdigitados con productos volcánicos de la Formación Chichinautzin que se depositaron en ambientes lacustres y depósitos aluviales. Posee una permeabilidad baja. Forma una planicie lacustre que aflora en la zona centro-poniente del área y su espesor varía de 30 a 300 m, los mayores espesores se presentan en el centro de la planicie y se adelgaza

hacia las márgenes de la subcuenca de Chalco. Su edad obtenida mediante el método C₁₄ implica una edad, del Pleistoceno Tardío al Holoceno. El origen de los depósitos lacustres está íntimamente relacionado con la obstrucción definitiva del desagüe de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica de la Sierra Chichinautzin.

II.7. GEOMORFOLOGIA

El relieve de la subcuenca de Chalco, en general, es volcánico, formado principalmente por estratovolcanes, conos cineríticos y coladas de lava, originados por el tectonismo que ha sufrido el área. Todas estas estructuras han sido afectadas por procesos de erosión, dando origen a depósitos sedimentarios aluviales y lacustres.

II.7.1. RELIEVE ENDOGENO

Es volcánico acumulativo, producto de la actividad volcánica, caracterizado por explosiones piroclásticas (volcánico explosivo), efusión de lavas (volcánico efusivo) y la alternancia de emisiones de lava (volcánico explosivo-efusivo), estos procesos dan origen a: conos cineríticos, estratovolcanes, laderas y coladas de lava, además de cráteres caldera; por ejemplo, Volcán Guadalupe (estratovolcán), ubicado al poniente del área; Volcán La Caldera y Cerro Xico (conos cineríticos), los cuales se localizan al centro-poniente y sur, respectivamente.

II.7.2. RELIEVE EXOGENO

Es erosivo y acumulativo, causado por el intemperismo, erosión y acumulación de sedimentos a través de miles de años; forma los barrancos y valles (exógeno erosivo), planicies lacustres, abanicos y llanuras aluviales (exógeno acumulativo); este proceso origina planicie lacustre y aluvial de Chalco (remanente del antiguo lago de Chalco).

Lugo, J. (1989), agrega un proceso de relieve llamado Exógeno Antrópico, que es causado por la actividad humana, como es, la extracción de canteras y material volcánico para uso en la construcción y además, el avance de la mancha urbana. Un ejemplo de este proceso es el Volcán Guadalupe, que presenta erosión, por el desarrollo de barrancos que origina una erosión remanente hacia el borde del cráter, favorecido por el material deleznable de escoria, este proceso provocado por el hombre por el trazo de veredas y la deforestación, además de la destrucción del cono en su vertiente Norte por la extracción de material de construcción y canteras.

III. GEOFISICA

La exploración geofísica del sitio estuvo enfocada a conocer la distribución en el subsuelo de las unidades litológicas que afloran, para lo cual se realizaron sondeos eléctricos verticales, cuyos resultados fueron correlacionados con la geología de la zona y con cortes litológicos recopilados en diferentes dependencias.

Los objetivos particulares que durante esta actividad se cubrieron fueron los siguientes:

a) Detallar el modelo geológico planteado, con el conocimiento de la distribución de las unidades de roca en el subsuelo, empleando como base la distribución de las resistividades obtenidas por los sondeos eléctricos verticales.

b) Establecer los espesores y continuidad lateral de los sedimentos lacustres y de los materiales ígneos.

III.1. TRABAJO DE CAMPO

Para cumplir con los objetivos planteados, se programó la realización de 26 sondeos eléctricos verticales (SEV's), los cuales fueron distribuidos de tal forma, que el entorno al tiradero de Santa Catarina quedara cubierto de una manera homogénea, para lo cual se tomaron en cuenta tanto las características geológicas como las topográficas. De esta forma se llevaron a cabo los SEV's, mediante el empleo del dispositivo Schlumberger.

La ubicación y distribución de los SEV's, se muestra en la fig. A, los resultados obtenidos en las fig. A1, A2, A3 y A4; a continuación se describen las características principales de las líneas que los integran.

CROQUIS DE LOCALIZACION

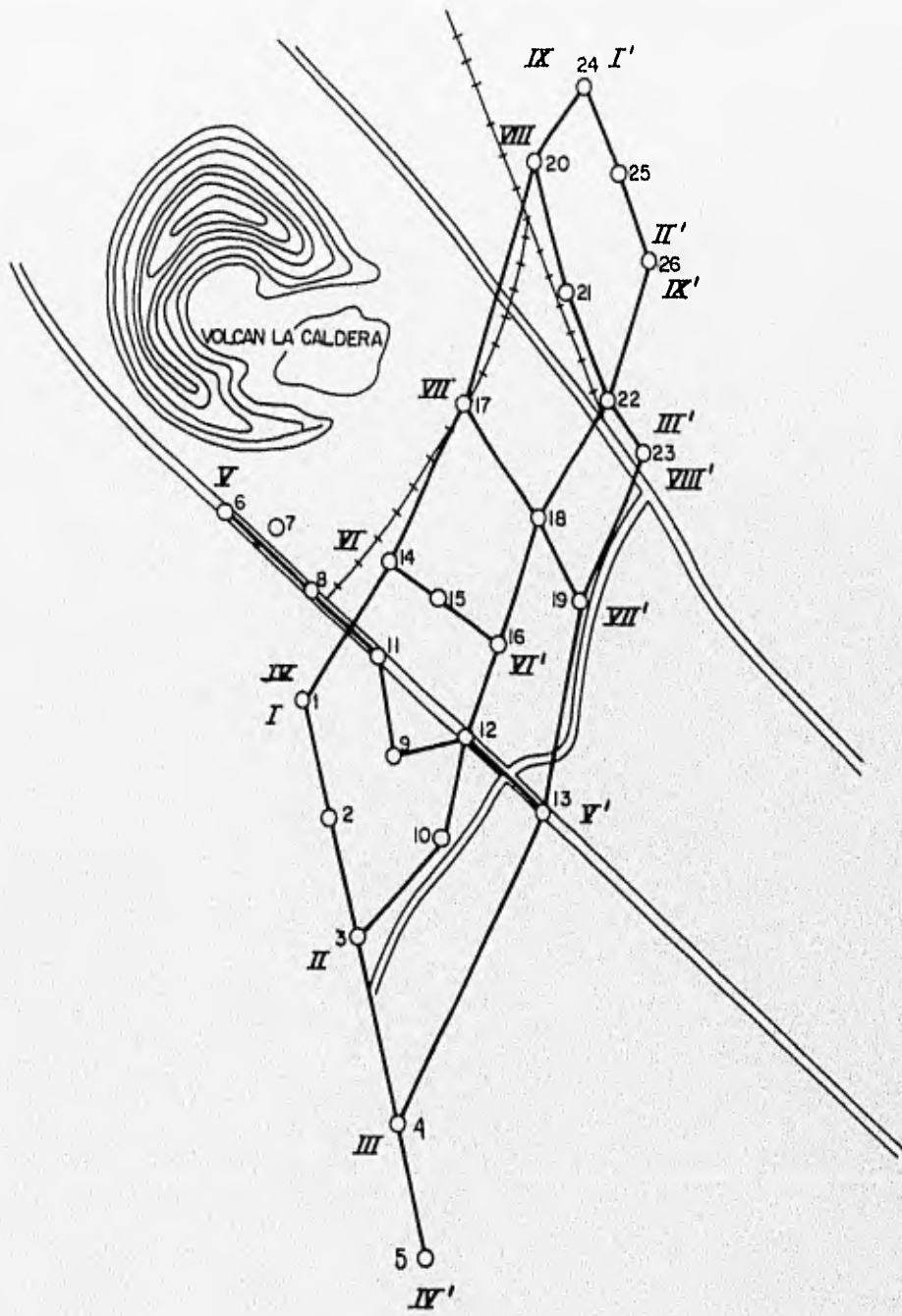
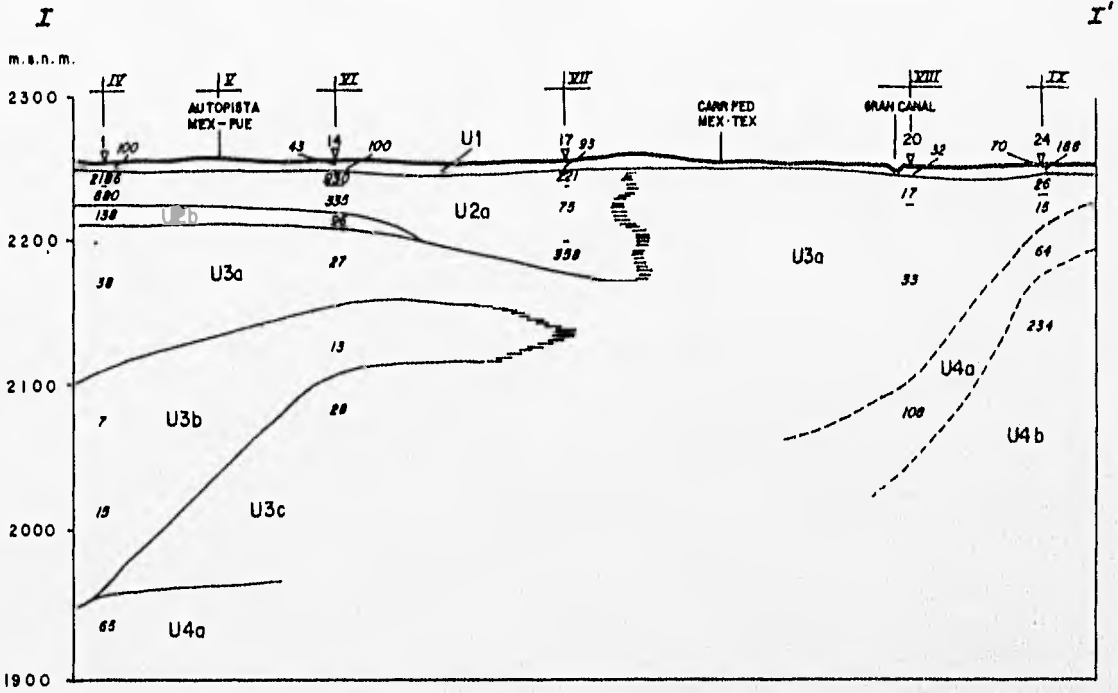


Fig. A

SECCION I - I'



SECCION II - II'

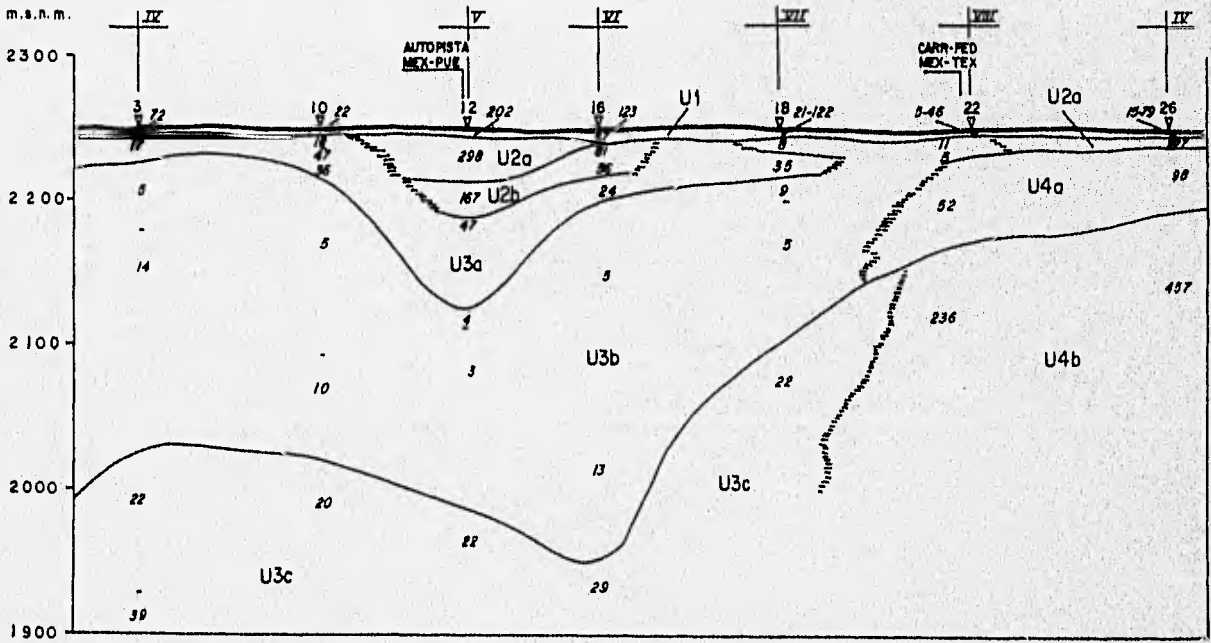


FIG. A 1

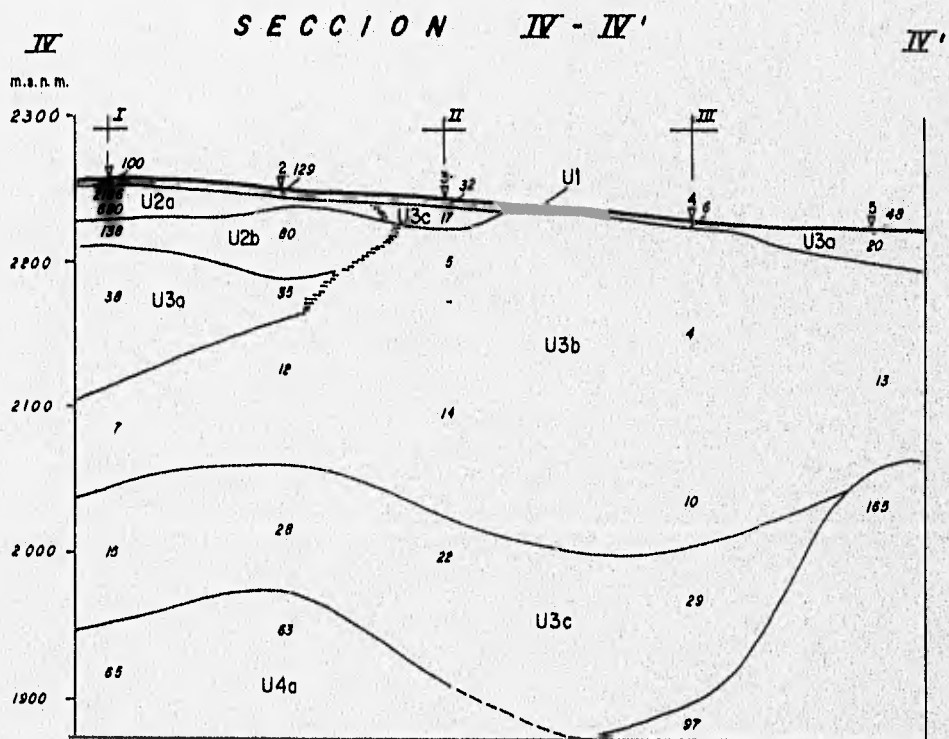
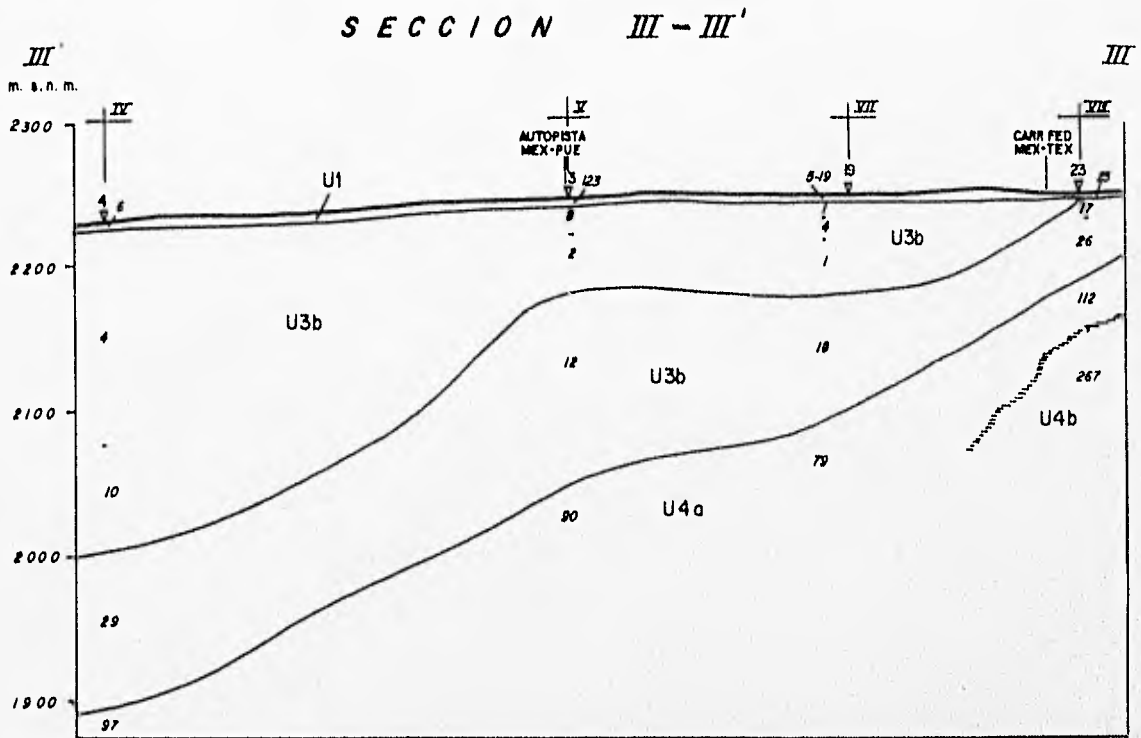
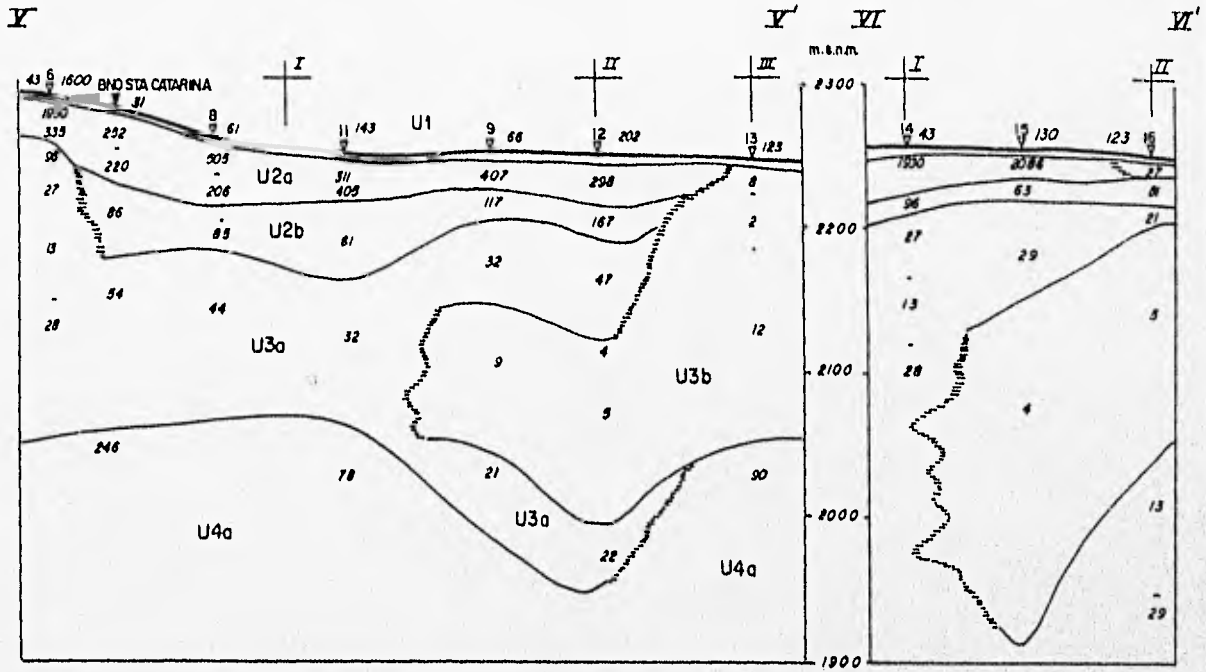


FIG. A 2

SECCION V-V'

SECCION VI-VI'



SECCION VII-VII'

SECCION VIII-VIII'

SECCION IX-IX'

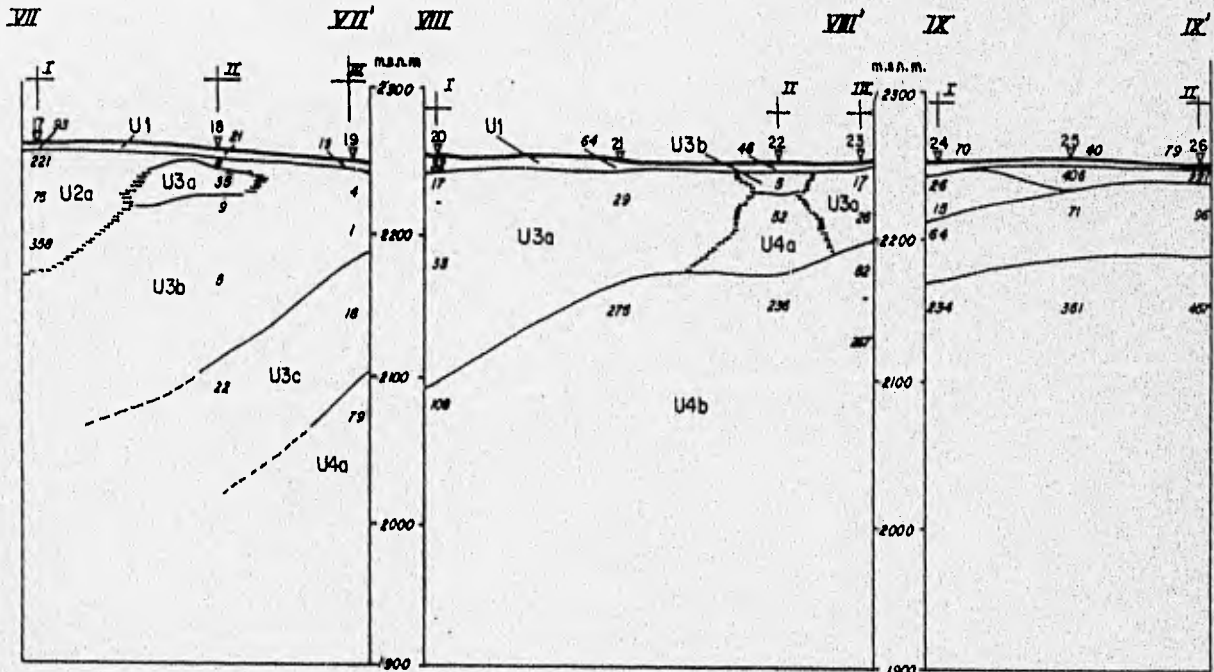
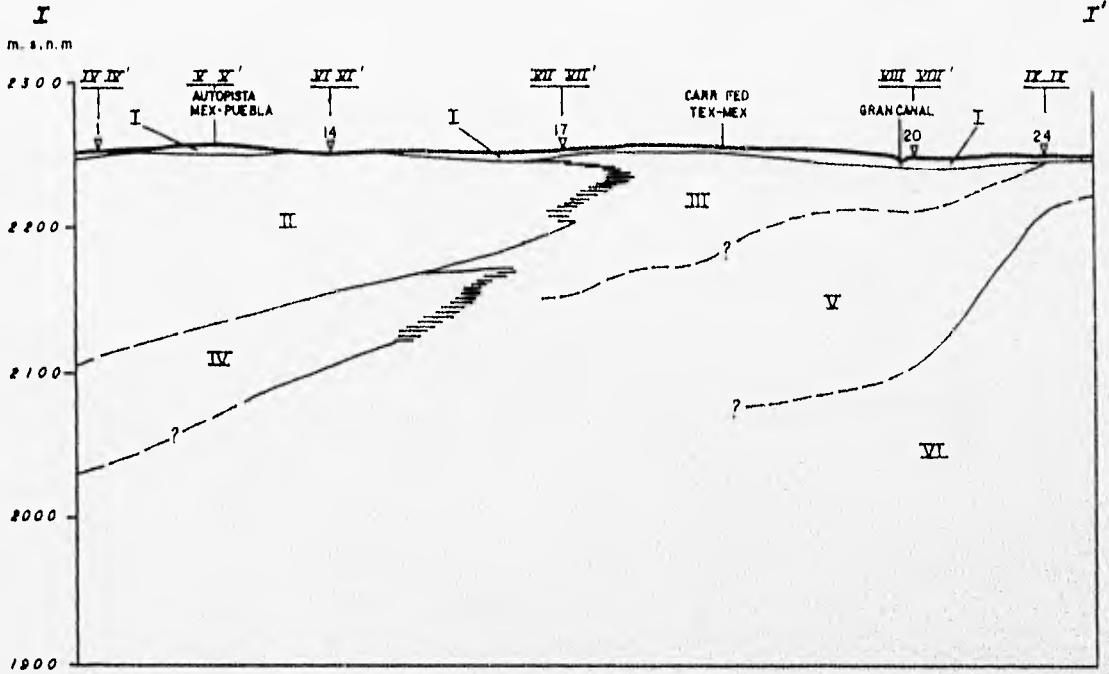


FIG. A 3

SECCION I - I'



SECCION II - II'

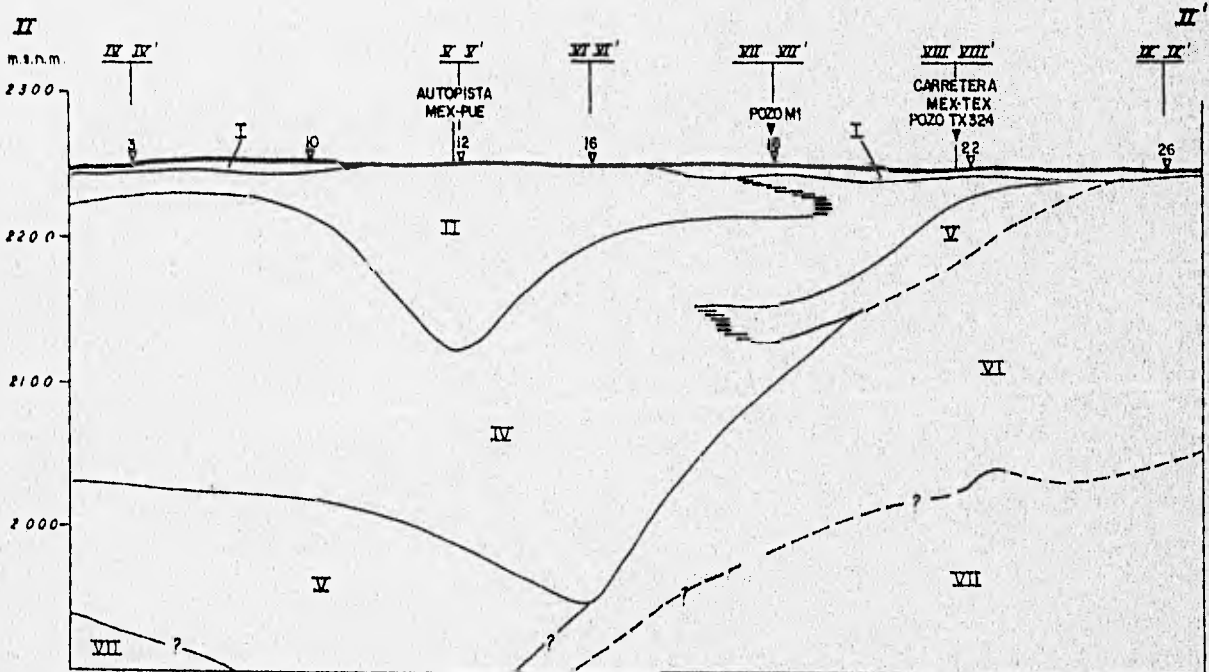
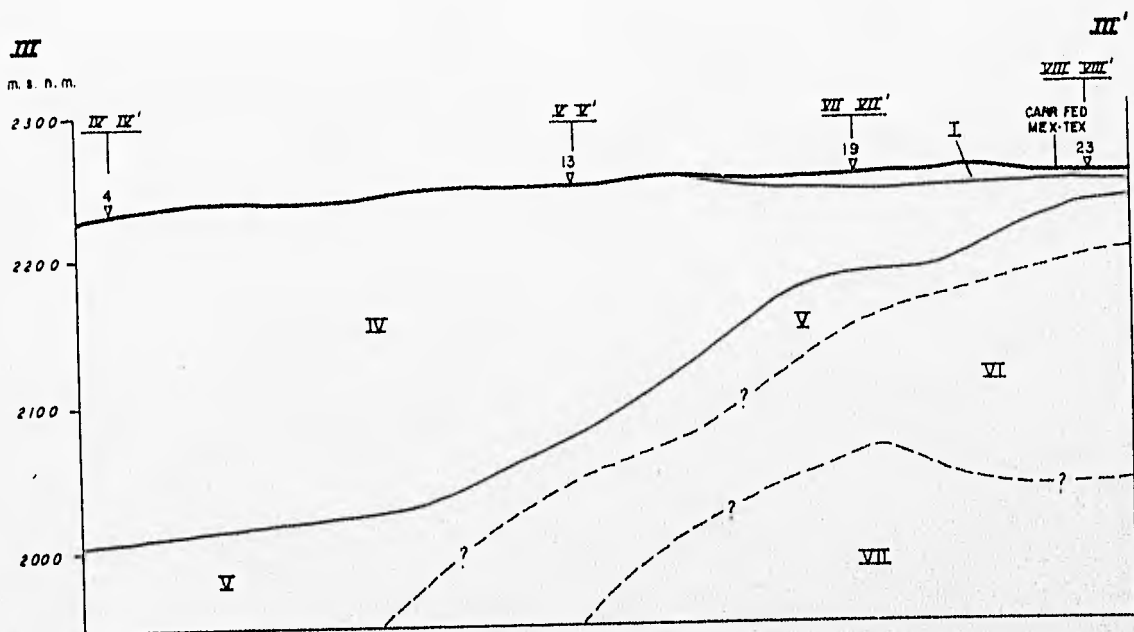


FIG. B1

SECCION III - III'



SECCION IV - IV'

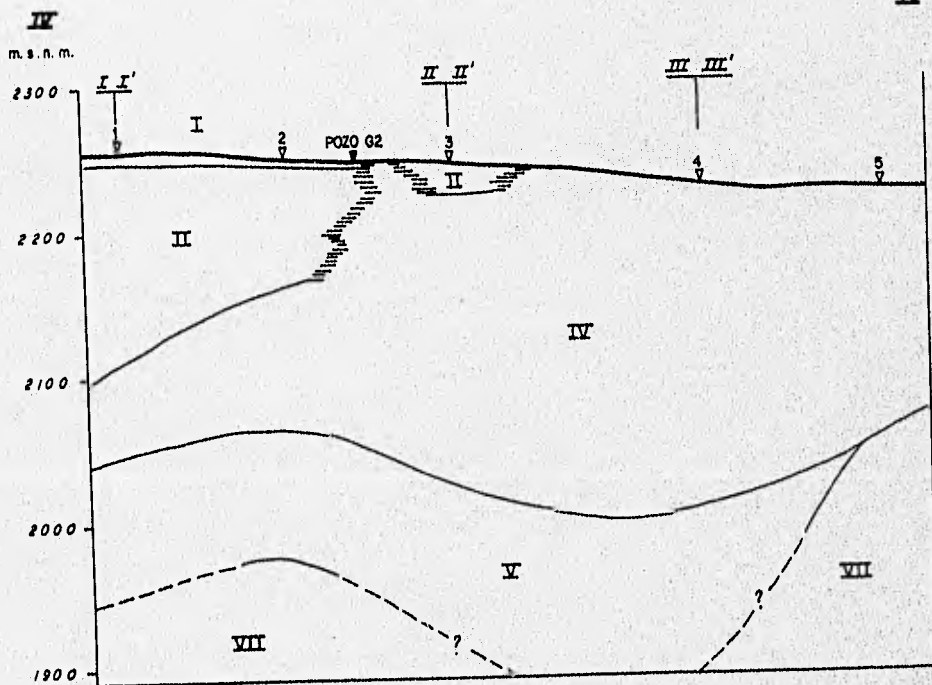
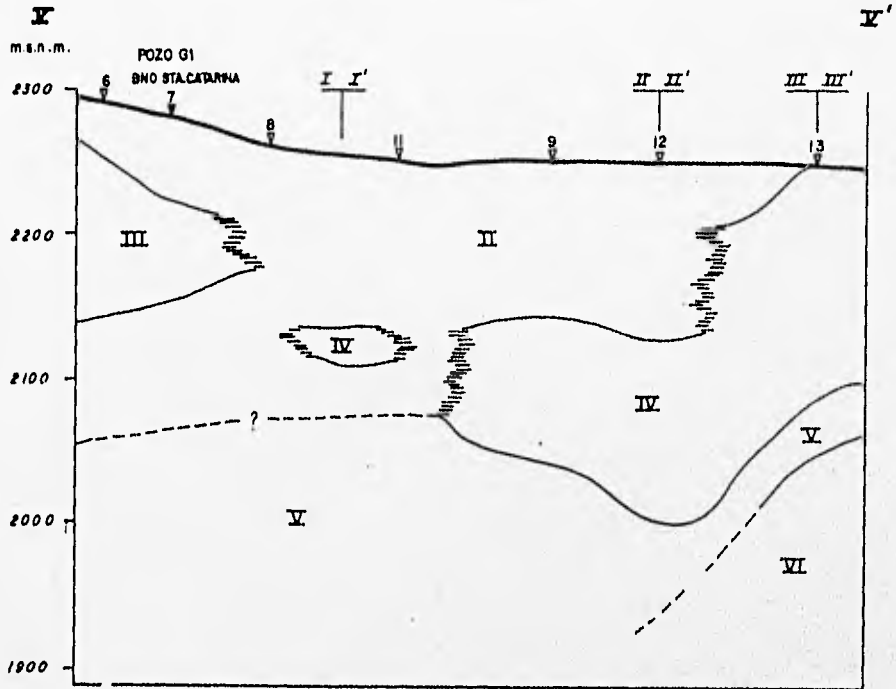


FIG. B 2

SECCION Y-Y'



SECCION VI-VI' SECCION VII-VII'

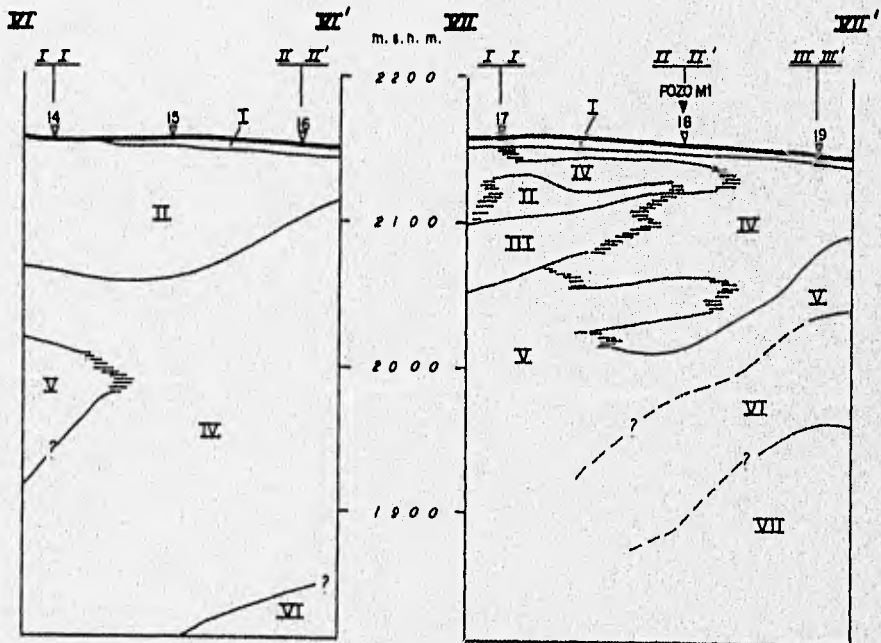
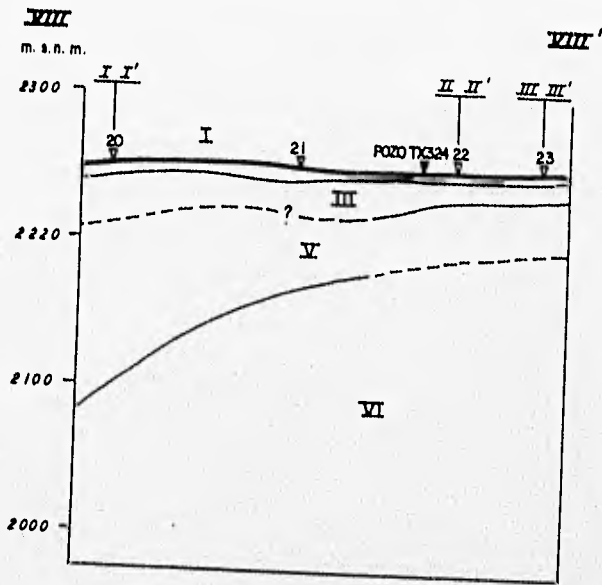


FIG. B 3

SECCION VIII-VIII'



SECCION IX-IX'

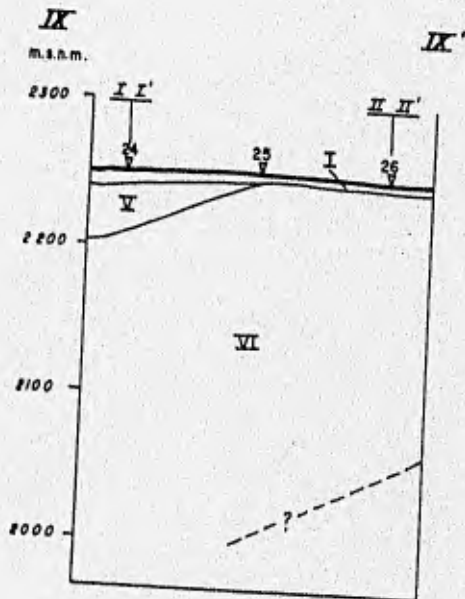


FIG. B4

TABLA III.1, CARACTERISTICAS DE LAS LINEAS DE EXPLORACION GEOFISICA

LINEA	SONDEOS QUE COMPRENDE	LONGITUD APROXIMADA (m)	ORIENTACION
I	1, 14, 17, 20 y 24	2,850	NE-SW 26°
II	3, 10, 12, 16, 18, 22, y 26	3,150	NE-SW 24°
III	4, 13, 9 y 23	2,950	NE-SW 22°
IV	1, 2, 3, 4 y 5	2,300	NW-SE 15°
V	6, 7, 8, 9 11, 12 y 13	2,150	NW-SE 45°
VI	14, 15 y 16	750	NW-SE 45°
VII	17, 18 y 19	950	NW-SE 37°
VIII	20, 21, 22, y 23	1,300	NW-SE 20°
IX	24, 25 y 26	800	NW-SE 20°

Las aberturas electródicas empleadas en la realización de los SEV's, fueron de: $AB/2 = 500$ m y $AB/2 = 1000$ m, con lo cual se cubrieron profundidades de investigación de hasta 400 m.

III.2. RESULTADOS E INTEGRACION GEOFISICA

Concluida la etapa de proceso e interpretación geofísica, se definieron para cada una de las 9 secciones, su correspondiente modelo geoelectrico, que consistió en agrupar características similares en los valores de resistividad, definiendo de esta manera unidades geoelectricas.

De los resultados obtenidos, se definieron cuatro unidades geoelectricas, U_1 , U_2 , U_3 y U_4 ; subdividiéndose las unidades U_2 y U_4 en dos y la unidad U_3 en tres, como se muestra en los

TABLA III.2, UNIDADES GEOELECTRICAS DIFERENCIADAS

UNIDAD GEOFISICA	RESISTIVIDAD (ohm-m)	ESPESOR (m)	MATERIAL LITOLOGICO
U ₁	5 - 1,600	< 10	Suelos y material fracturado y alterado
U _{2a}	99 - 1,930	20 - 50	Coladas de basalto fracturado
U _{2b}	56 - 167	15 - 50	Tobas limo -arenosas y brechas volcánicas
U _{3a}	13 - 47	15 - 180	Material lacustre arenoso y/o tobas limo-arenosas
U _{3b}	1 - 15	60 - 240	Material lacustre-arcilloso
U _{3c}	12 - 49	50 - 130	Material lacustre arenoso-arcilloso
U _{4a}	52 - 122	35 - 60	Material piroclástico
U _{4b}	236 - 457	Indefinido	Material piroclástico consolidado

III.3. INTEGRACION GEOLOGICO-GEOFISICA

Una vez establecidas las configuraciones geoelectricas, se procedió a correlacionar sus resultados con la información geológica y de cortes litológicos de pozos con que se contaba; el resultado fue la determinación de 7 unidades litológicas asociadas a las unidades geoelectricas, su distribución puede verse en las fig. B1, B2, B3 y B4; a continuación se resumen sus características en la siguiente tabla.

TABLA III.3, CARACTERISTICAS DE LAS UNIDADES LITOLOGICAS ASOCIADAS A LAS UNIDADES GEOELECTRICAS

UNIDAD LITOLOGICA	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω-m)	CARACTERISITICAS
I	5 - 150	Material granular del tamaño de la arena y limo (aluvión)
II	17 - 2,180	Rocas volcánicas constituidas por productos piroclásticos y lavas basálticas fracturadas, asociadas con la Sierra Santa Catarina
III	13 - 360	Productos piroclásticos del tamaño de la arena y el limo, compactados, con muy escasas fracturas y alta porosidad, asociados al Volcán La Caldera
IV	1 - 17	Material granular en el que predominan los sedimentos arcillosos; se encuentran alternando con horizontes de granulometría arenosa y arano-limosa (lacustre)
V	15 - 320	Rocas volcánicas constituidas por coladas de lava fracturadas y productos piroclásticos porosos, asociados con la Sierra Santa Catarina
VI	18 - 460	Alternancia de lavas andesíticas y basálticas, brechas volcánicas soldadas y productos piroclásticos no consolidados asociados al Volcán El Pino
VII	-	Coladas de lava andesítica y dacítica, fracturadas asociadas al Cerro el Elefante

En las fig. B1, B2 y B3, se puede observar que el material lacustre se acuña hacia las inmediaciones del Volcán La Caldera y de la Sierra Santa Catarina y que este mismo material alcanza su mayor espesor en donde se localizan los sondeos 15 y 16; de igual manera, un aspecto muy importante para los objetivos del presente estudio, es observar como en algunos sitios, como el representado en la porción norte de la sección I - I', de la fig. B1 prácticamente no existen los horizontes de baja resistividad asociados a materiales lacustres arcillosos; esto es relevante por que en este lugar, sobre el acuífero en explotación, sólo se encuentran materiales que por su origen son permeables, que permiten que el acuífero se comporte como libre y que los fluidos puedan migrar sin que algún paquete impermeable se interponga.

La interpretación geológica de los resultados obtenidos con la geofísica eléctrica, permitió asociar las resistividades encontradas con unidades litológicas; de esta forma se encontró que hacia la parte plana, entre los depósitos jóvenes y antiguos de la Formación Chichinautzin, normalmente, se encuentra un paquete de sedimentos lacustres arcillosos de resistividades bajas, que hacia el Volcán La Caldera se acuña hasta no ser detectado; hacia el Cerro El Pino se encontró que estos sedimentos lacustres también se acuñan, depositándose sobre los materiales volcánicos emitidos por dicho volcán y los derivados del Volcán La Caldera, sin embargo más hacia la planicie (sondeos 18 y 19), sobre los materiales emitidos por el Cerro El Pino descansan los depósitos lacustres. Aunque la geofísica no lo identificó, a manera de esquema, se separó a profundidad y de forma inferida los materiales volcánicos más antiguos para esquematizar la secuencia estratigráfica que debe existir.

IV. HIDROGEOQUIMICA

Durante los recorridos piezométricos, se obtuvo información sobre los parámetros físico-químicos del agua de las obras, como son conductividad eléctrica, temperatura, alcalinidad y pH.

La conductividad eléctrica que se obtuvo en la zona, varió de un mínimo de 218 microsiemens/cm ($\mu\text{s}/\text{cm}$) a un valor máximo de 900 $\mu\text{s}/\text{cm}$, intervalo que representa que el agua es de buena calidad química.

En lo referente a la temperatura, ésta presenta un valor promedio en los pozos de 26°C, valor normal que no refleja la presencia de algún proceso termal.

La alcalinidad se presenta en un promedio de 140 ppm de CaCO_3 , que es un valor muy por debajo del límite de concentración máxima permitida por la Secretaría de Salud y Asistencia (S.S.A.) de 400 ppm de CaCO_3 .

En cuanto a los valores de pH, en casi todos los pozos se rebasa la concentración máxima permitida tanto por la Secretaría de Salud y Asistencia (de 6.5 a 8.5), como por la Organización Mundial de la Salud (de 6.3 a 9.2), teniendo en la región valores que van de 9.0 el más bajo a 9.9 el más alto.

En lo que se refiere a las propiedades organolépticas, es interesante comentar que todos los pozos que se encuentran en las cercanías del Gran Canal y Canal de la Compañía, presentan olores fétidos; además en uno de los pozos del CBTA (Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario), se detectó la presencia de gas, así como en el pozo que se localiza en el centro de Santa Catarina (a un costado de la iglesia), el cual presenta olor y sabor fétido, además de un color amarillento.

La alta concentración en el pH, la presencia de gas en el pozo del CBTA y los olores y sabores fétidos en casi todos los pozos, parecen indicar una contaminación directa a las aguas subterráneas, debido a la presencia de los canales no revestidos, por los que circula agua altamente contaminada directamente sobre materiales permeables, o bien por la existencia de zonas urbanas sin drenaje como Santa Catarina, la cual está asentada sobre materiales altamente permeables; vale la pena mencionar que los pozos perforados en zonas en donde los depósitos lacustres presentan grandes espesores, como son los ubicados al sur del área (pozos próximos al Volcán Xico), no presentan estos problemas debido a que el acuífero está más profundo y protegido por esta capa superior.

Con la información histórica recopilada en la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) sobre calidad del agua, se elaboraron las gráficas que se muestran en las figuras 9 a 14; estas figuras representan diferentes parámetros como Sólidos Totales Disueltos, Cloruros y Cuenta Estándar, entre otros, para los pozos de los ramales Santa Catarina y Mixquic-Santa Catarina; los primeros pozos se localizan en la margen sur de la Sierra Santa Catarina, fuera del área de estudio (a excepción del pozo SC1) y los del segundo ramal en la porción sureste de la misma.

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 1; CLAVE: SC-1

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
06-03-84	-	181.9	230
22-07-85	3,130	168	-
02-12-86	3,800	184	20
22-07-87	-	125	520
28-11-88	3,676	171	25
03-07-90	3,596	177	200

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 6; CLAVE: SC-6

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
03-06-84	-	121.2	195
18-11-85	1,256	141.9	35

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 7; CLAVE: SC-7

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
18-11-85	1,754	225	50
08-08-86	1,782	214	40
30-04-87	1,780	207	1
10-11-88	1,832	200	550
17-05-90	1,736	181	30

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 8; CLAVE: SC-8

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
07-03-84	746	63.4	195
18-11-85	798	95.2	5
03-11-86	736	98	20
22-05-87	764	95	140
10-11-88	1,324	92	6,500
09-03-89	1,932	90	260
01-08-90	814	111	325

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 9; CLAVE: SC-9

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
10-11-86	1,684	182	20
28-07-87	1,746	192	80
30-08-88	1,698	165	240
14-02-89	1,640	152	30
10-05-90	1,716	155	-

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 10; CLAVE: SC-10

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
06-03-84	-	138.8	5
18-11-85	1,426	135	5
20-10-86	1,490	132	30
22-07-87	1,582	125	120
02-06-88	1,500	129	200
21-09-89	1,556	123	445
17-09-90	1,704	146.6	325

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 11; CLAVE: SC-11

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
07-03-84	406	50.9	1,820
18-11-85	464	58.3	10
20-10-86	480	72	20
22-05-87	472	73	10
01-11-88	556	81	20
07-02-89	552	82	15
01-08-90	572	74.8	1,170

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 10; CLAVE: SC-10

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
06-03-84	-	138.8	5
18-11-85	1,426	135	5
20-10-86	1,490	132	30
22-07-87	1,582	125	120
02-06-88	1,500	129	200
21-09-89	1,556	123	445
17-09-90	1,704	146.6	325

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 11; CLAVE: SC-11

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
07-03-84	406	50.9	1,820
18-11-85	464	58.3	10
20-10-86	480	72	20
22-05-87	472	73	10
01-11-88	556	81	20
07-02-89	552	82	15
01-08-90	572	74.8	1,170

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 12; CLAVE: SC-12

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
07-03-84	1,430	165.1	20
18-11-85	1,552	181.4	5
20-10-86	1,510	160	65
14-04-87	1,541	161	30
09-11-88	1,590	162	45
19-05-89	1,568	158	70
18-07-90	1,616	109	6,500

RAMAL SANTA CATARINA, POZO No. 13; CLAVE: SC-13

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
28-04-83	494	72	5
21-04-84	-	-	10

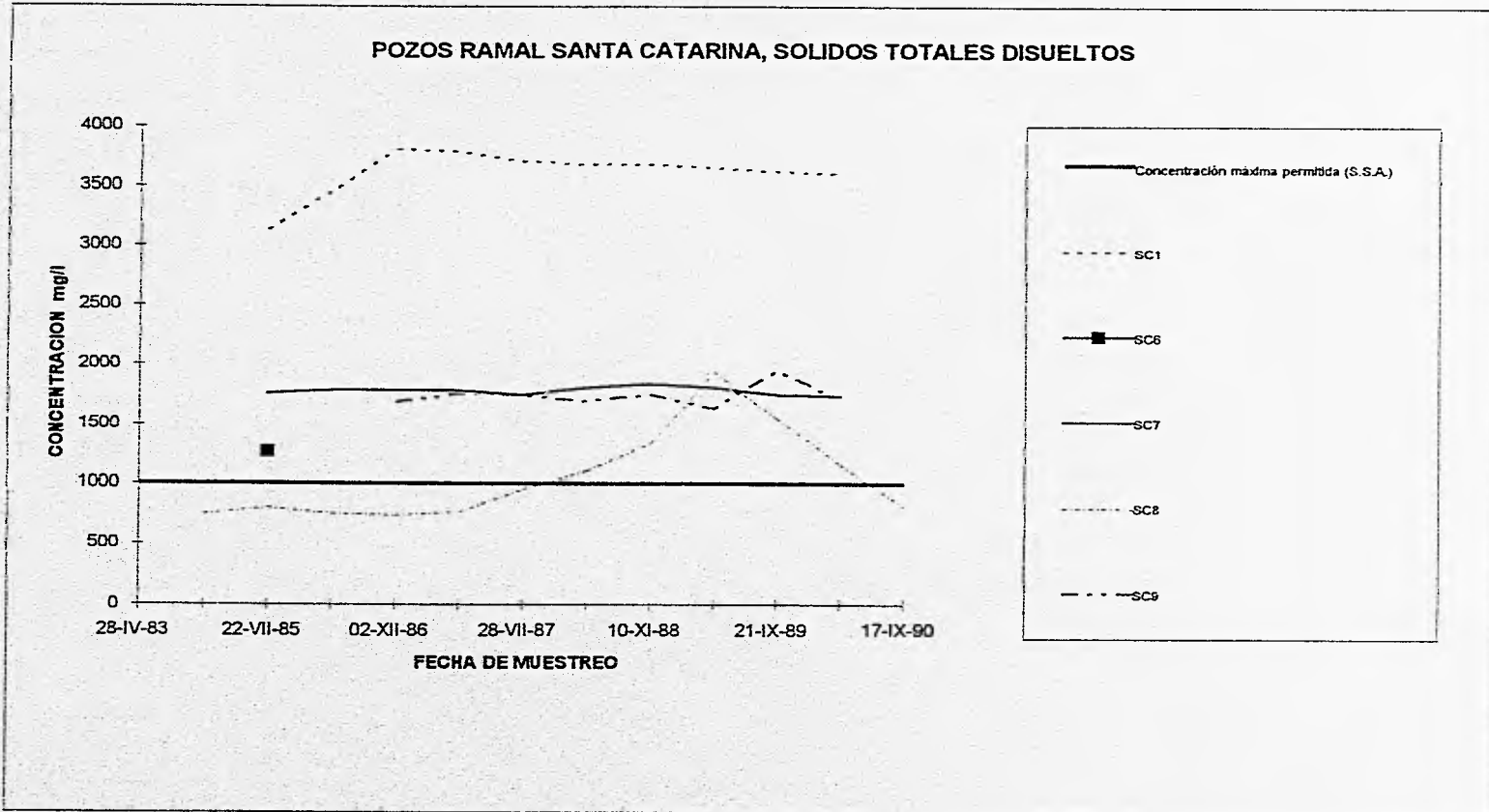


Figura 9

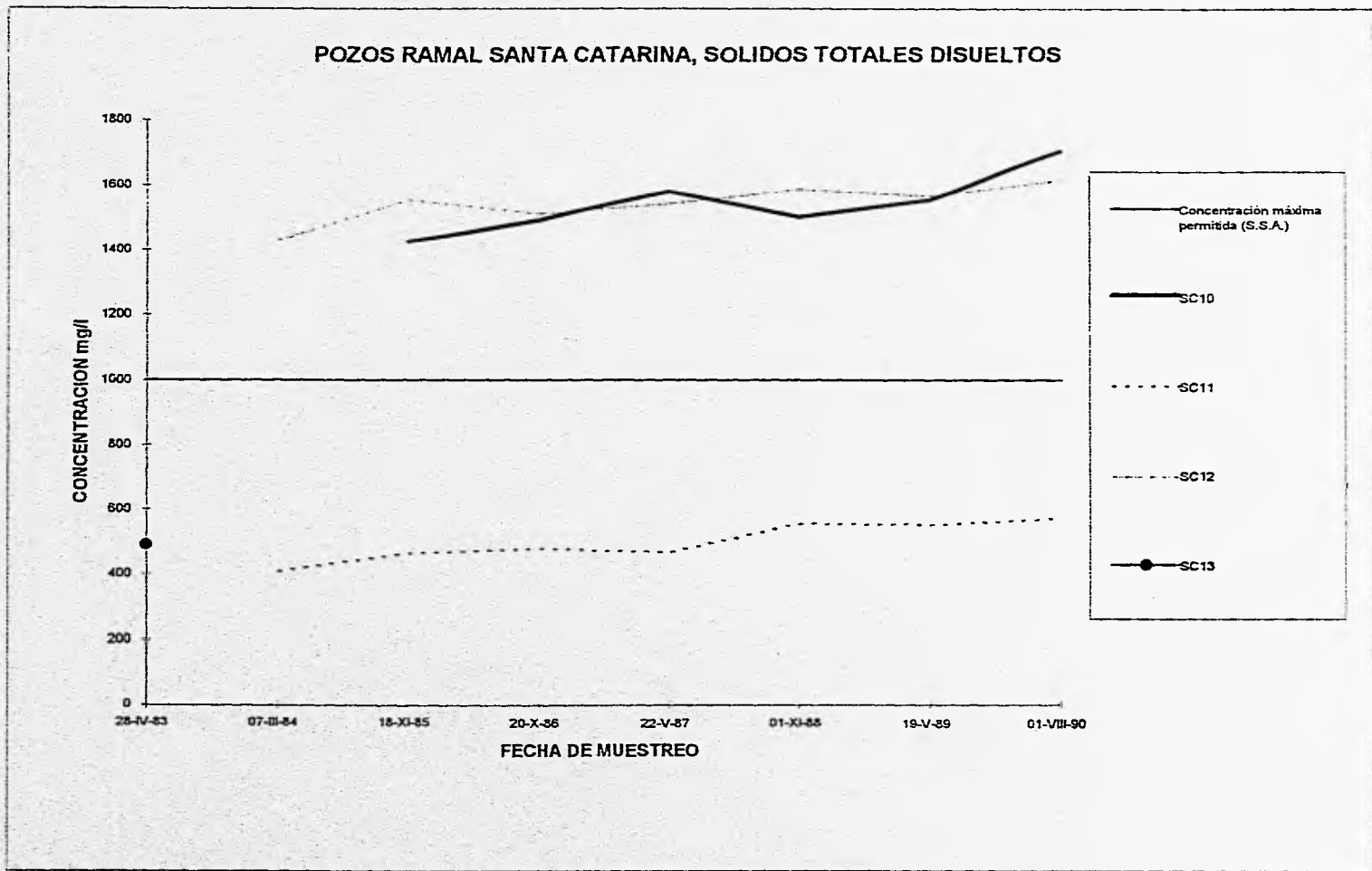


Figura 9.1

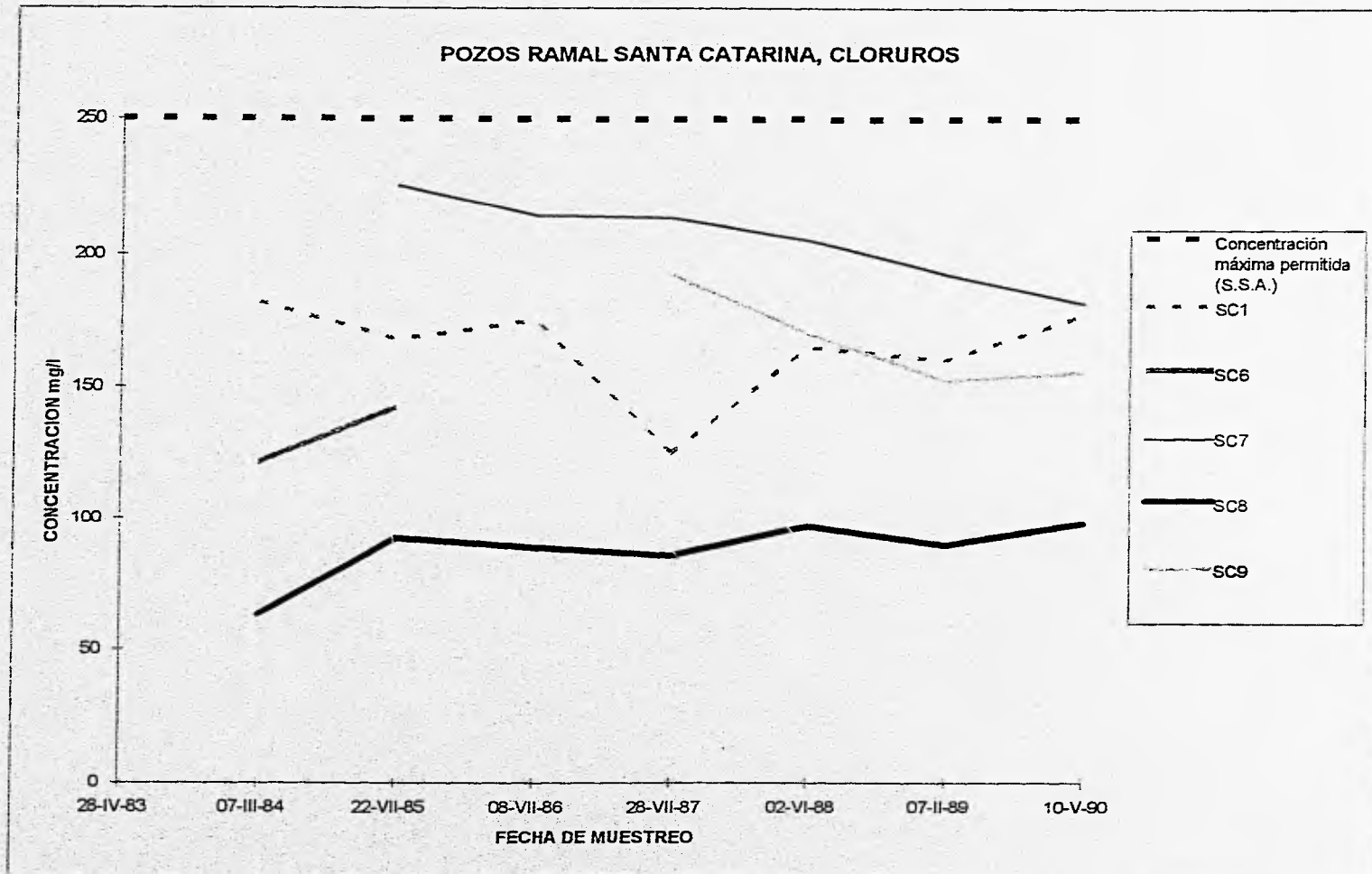


Figura 10

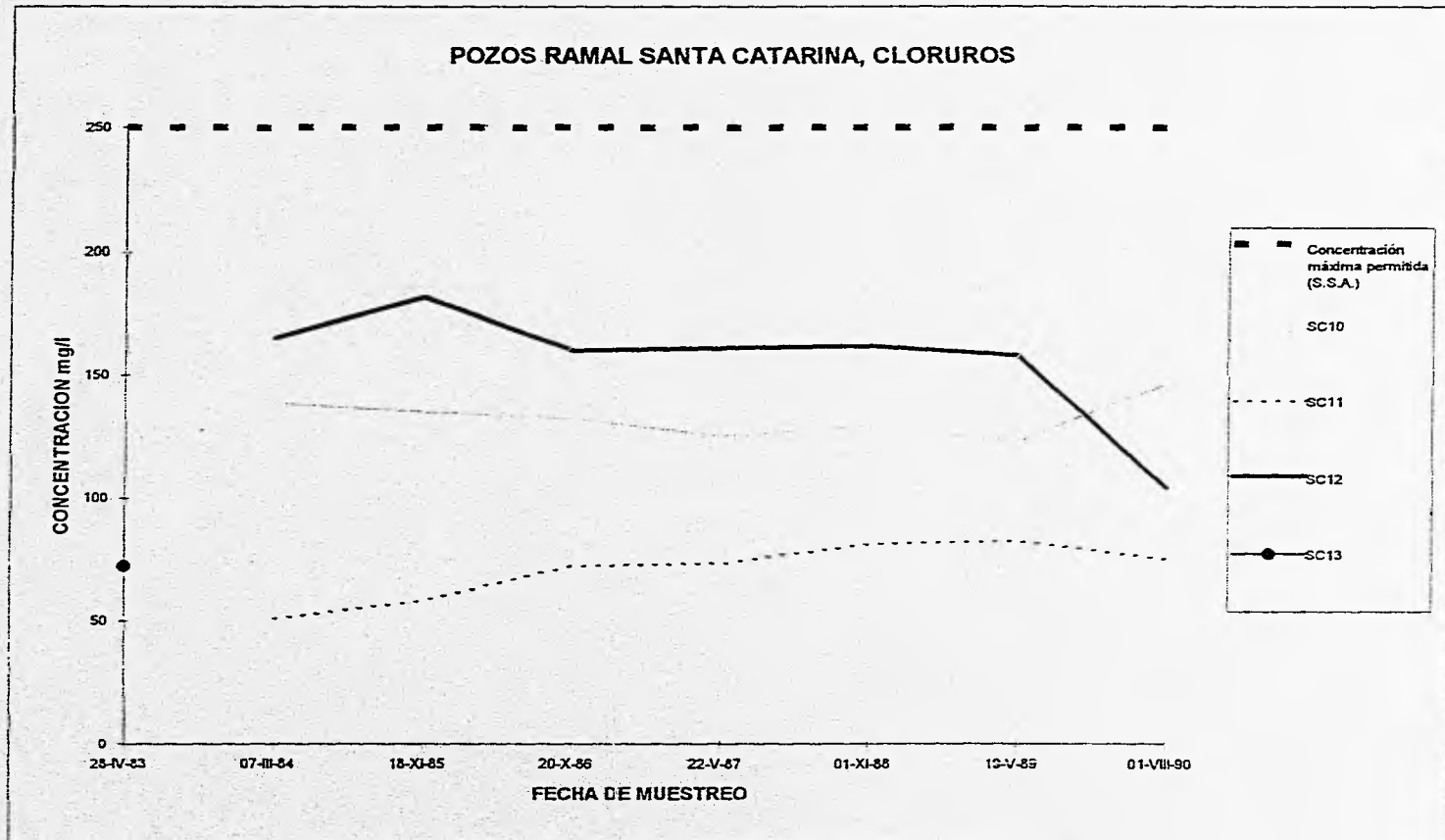


Figura 10.1

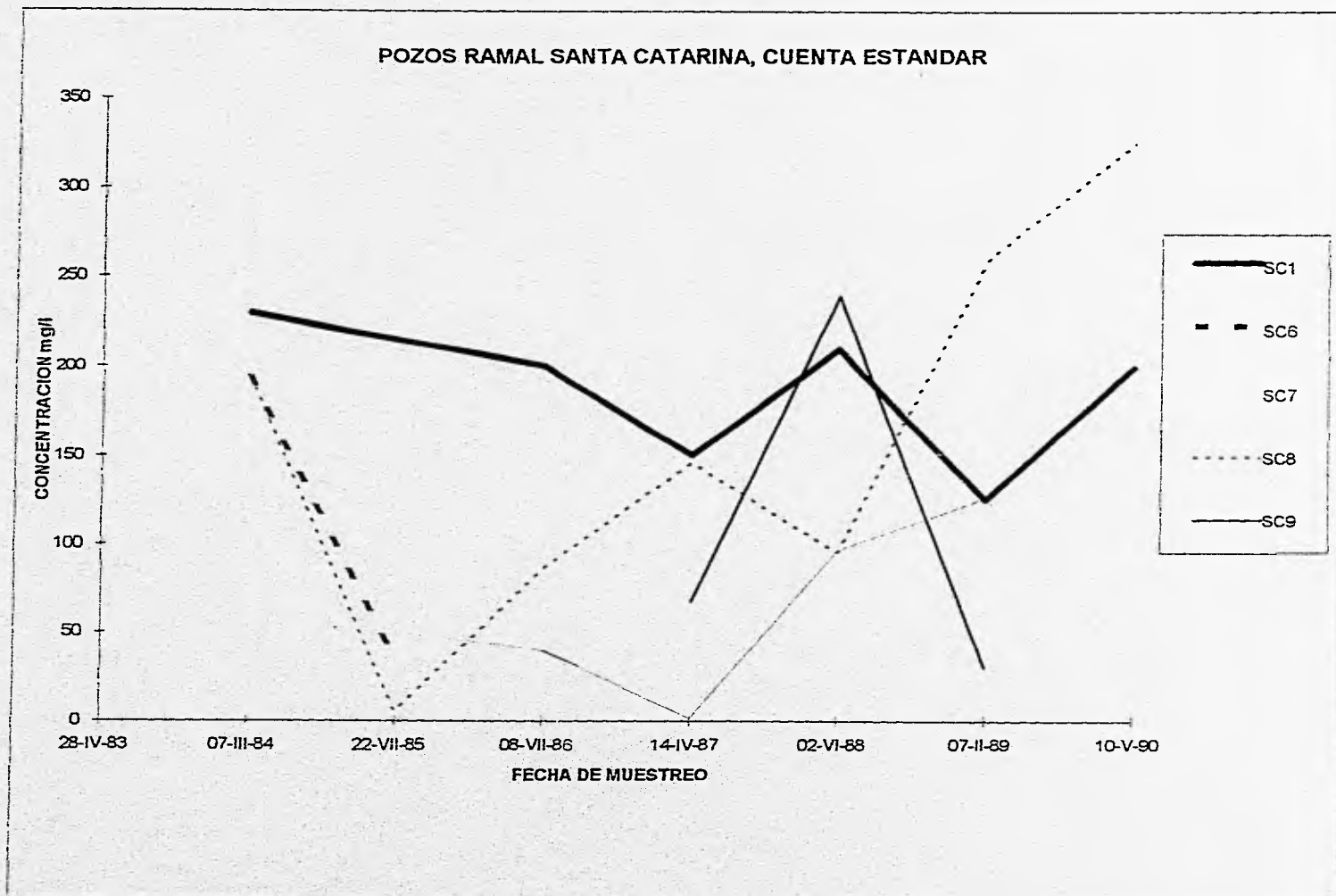


Figura 11

POZOS RAMAL SANTA CATARINA, CUENTA ESTANDAR

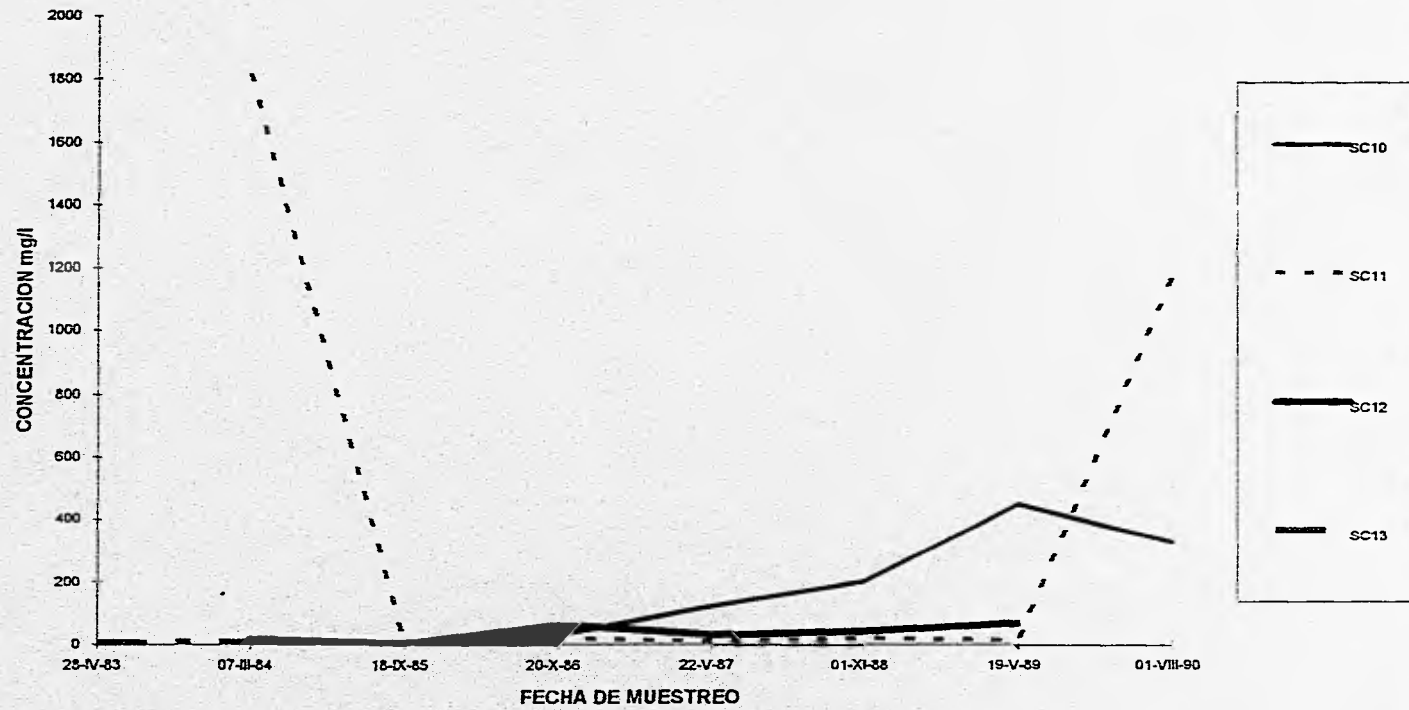


Figura 11.1

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 1; CLAVE: MSC-1

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	422	38.5	1,300
22-07-85	594	44	-
17-04-86	430	43	100
10-04-87	210	44	> 6,500
29-04-88	382	48	1,625
05-01-89	480	66	90
20-09-90	468	43.7	780
18-01-91	280	27.4	715
02-06-92	388	39	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 2; CLAVE: MSC-2

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	514	44	30
17-04-86	478	47	200
30-04-87	536	50	> 6,500
29-04-88	270	24	1,950
05-01-89	482	42	> 6,500
20-09-90	446	54.6	975
18-01-91	448	123	390
02-06-92	576	122.5	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 3; CLAVE: MSC-3

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	4,510	1,320	1,200
17-04-86	1,746	432	1,300
15-06-87	1,578	312	80

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 4; CLAVE: MSC-4

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
20-09-90	348	15.9	55
10-01-91	296	17.6	520
02-06-92	856	195	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 5; CLAVE: MSC-5

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	438	36	200
27-01-87	356	36	10
29-04-88	300	30	220
05-01-89	436	34	10
27-06-90	358	33	5
13-03-91	376	33.1	120
02-06-92	324	29.5	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 6; CLAVE: MSC-6

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	546	32.5	190
17-04-86	318	30	1,950
10-06-87	332	28	> 6,500
29-04-88	294	29	560
21-10-88	-	-	100
17-05-90	416	114	> 6,500
10-05-91	340	31.8	1,040

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 7; CLAVE: MSC-7

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
05-11-84	536	35.5	210
17-04-86	316	33	440
29-04-88	330	45	970
21-10-88	-	-	715
05-01-89	364	33	> 6,500
20-09-90	312	35.6	2,340
12-10-90	380	37.6	120
02-06-92	324	23	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 8; CLAVE: MSC-8

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
15-04-85	374	28	190
17-04-86	318	25	30
20-04-87	296	23	300
29-04-88	262	23	360
21-10-88	-	-	80
17-05-90	204	13.8	2,535
28-01-91	548	88.4	445
02-06-92	232	13	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 9; CLAVE: MSC-9

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
17-04-86	250	19	660
30-02-87	248	17	60
29-04-88	232	18	200
21-10-88	-	-	585
18-01-91	244	16.1	390
02-06-92	216	13.1	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 10; CLAVE: MSC-10

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
30-02-87	274	22	650
30-08-88	302	22	30
21-10-88	-	-	40
20-09-90	-	-	30
18-01-91	240	20.6	80
02-06-92	864	17	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 11; CLAVE: MSC-11

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
15-04-85	390	26.5	> 6,500
17-04-86	262	24	190
30-02-87	262	17	60
29-04-88	254	24	40
30-08-88	290	22	> 6,500
20-09-90	320	19.2	45
12-10-90	316	22.6	200
14-02-92	288	16	650

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 12; CLAVE: MSC-12

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
30-02-87	284	30	20
29-04-88	252	31	90
08-01-89	244	16	100
28-01-91	340	43.7	10
02-06-92	240	14	> 6,500

RAMAL MIXQIC-SANTA CATARINA, POZO No. 13; CLAVE: MSC-13

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
22-07-85	444	28	-
30-02-87	234	16	70
29-04-88	328	6	650
10-05-91	296	29	1,430
02-06-92	280	25	> 6,500

RAMAL MIXQUIC-SANTA CATARINA, POZO No. 14; CLAVE: MSC-14

FECHA	SOLIDOS TOTALES (ppm)	CLORUROS (ppm)	CUENTAS ESTANDAR (ppm)
30-04-87	286	22	40
30-08-88	220	15	>6,500
21-10-88	-	-	40
24-07-91	-	-	30
02-06-92	152	11.5	> 6,500

Del análisis realizado se puede observar que los pozos ubicados en el ramal Santa Catarina, presentan problemas de contaminación, pues prácticamente todos los pozos sobrepasan las normas establecidas por la Secretaria de Salud; no así los pozos del ramal Mixquic-Santa Catarina, en donde sólo algunos presentan problemas; lo anterior se atribuye a que en el caso del primer ramal, los pozos están ubicados sobre materiales altamente permeables desde la superficie, lo que permite que los contaminantes derivados de los asentamientos humanos sin drenaje, localizados sobre la sierra, se muevan rápidamente hacia el acuífero sin que exista autodepuración.

Los pozos del ramal Mixquic-Santa Catarina, tienen una capa de material lacustre cubriendo al acuífero que se explota, lo que favorece la conservación del mismo; en este caso los pozos que presentan contaminación tienen la peculiaridad de localizarse en medio de otros con agua de buena calidad, lo que es debido a su posición con respecto a las coladas de lava derivadas de la Sierra Santa Catarina, ya que en el subsuelo su distribución es irregular formando lenguas, por las que los fluidos se mueven más rápidamente; algunas de estas estructuras sepultadas deben estar próximas a los pozos, lo que permite su contaminación; de cualquier forma esta contaminación no se asocia al tiradero, si no a los focos contaminantes localizados sobre la sierra citada; lo anterior se comprueba al ver la localización de los pozos y la dirección que el agua subterránea sigue en las inmediaciones del tiradero (plano 2).

POZOS RAMAL MIXQUIC-STA. CATARINA, SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

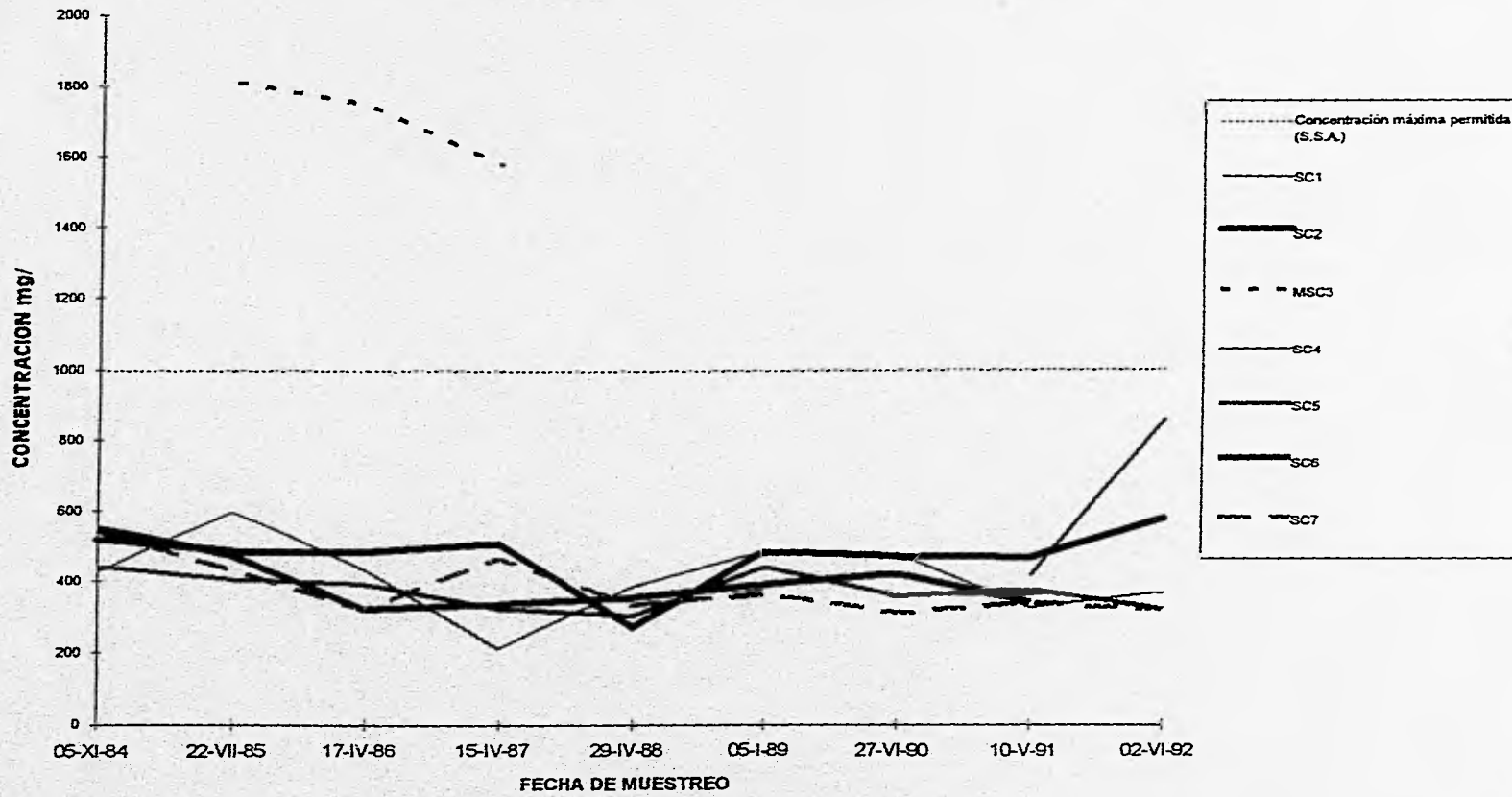


Figura 12

POZOS RAMAL MIXQUIC-STA. CATARINA, SOLIDOS TOTALES DISUELTOS

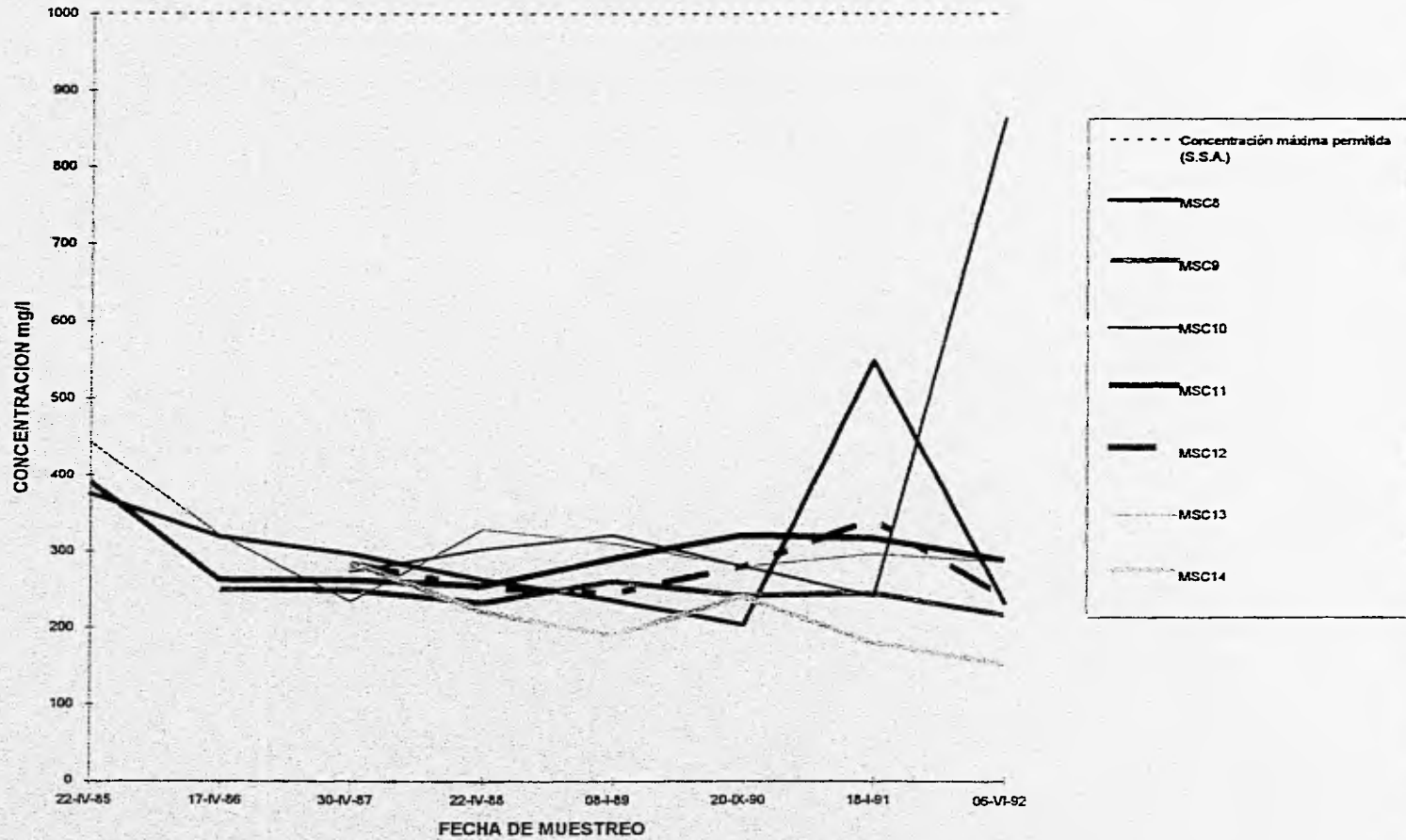


Figura 12.1

POZOS RAMAL MIXQUIC-STA. CATARINA, CLORUROS

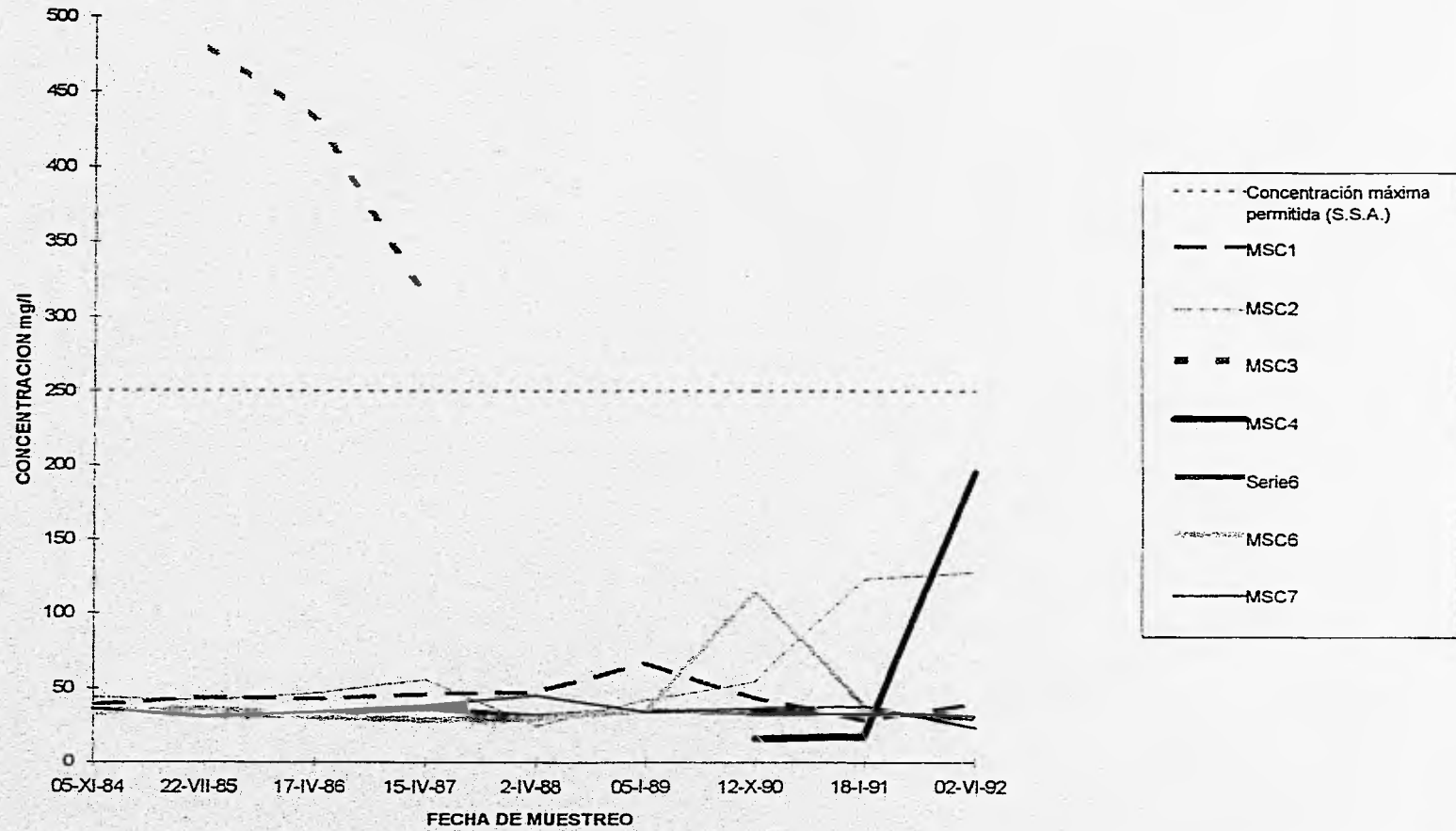


Figura 13

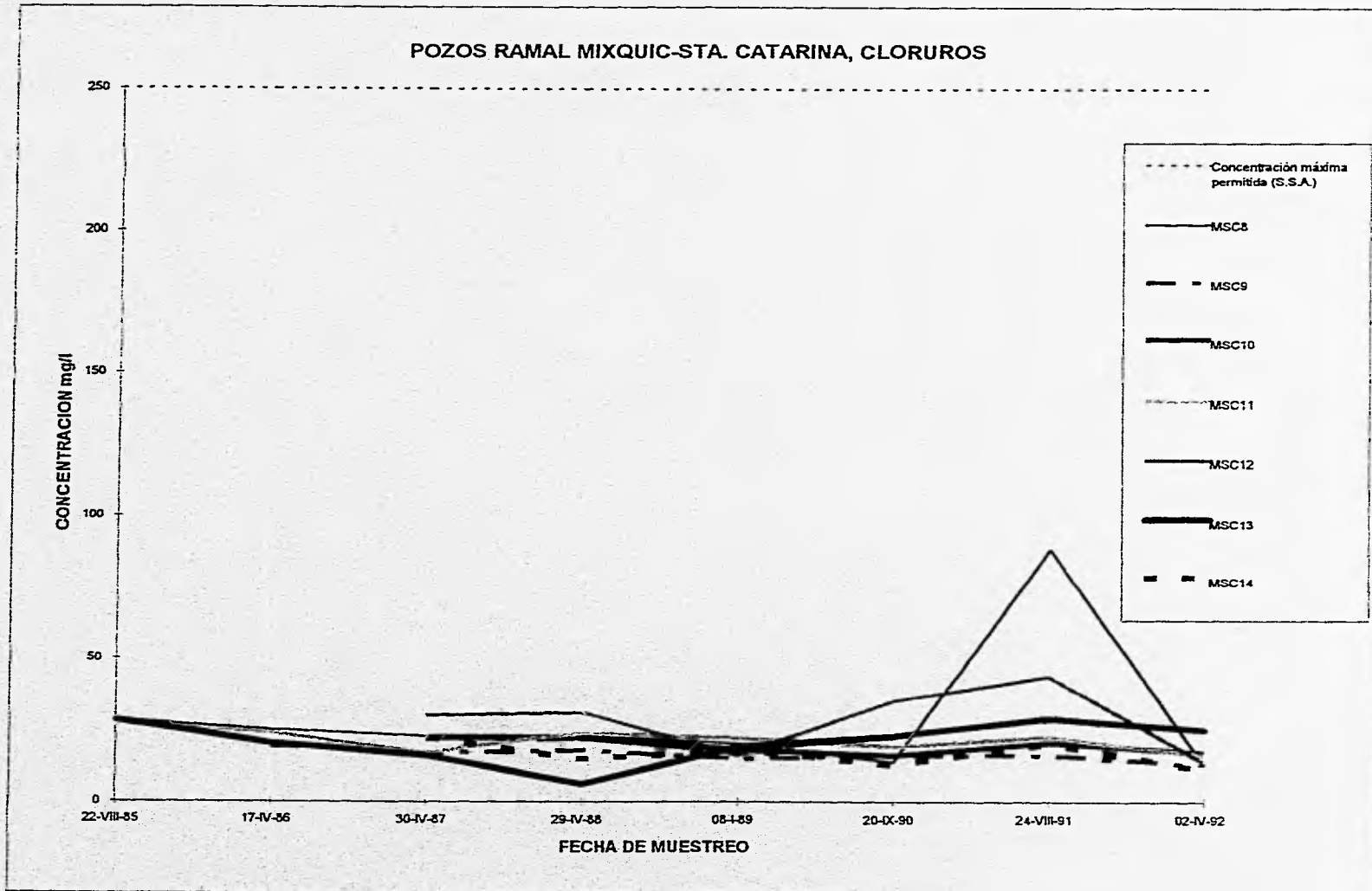


Figura 13.1

POZOS RAMAL MIXQUIC-STA. CATARINA, CUENTA ESTANDAR

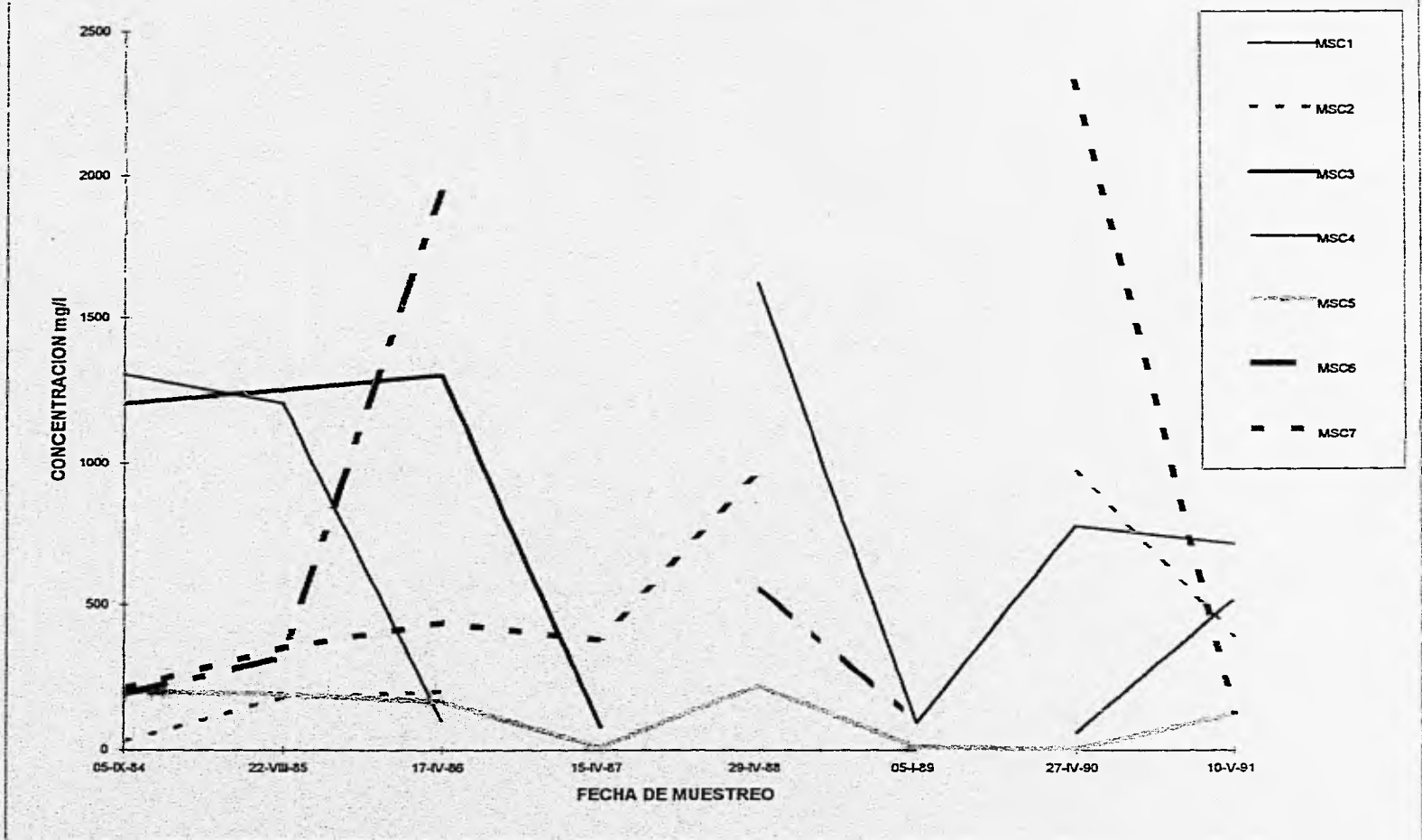


Figura 14

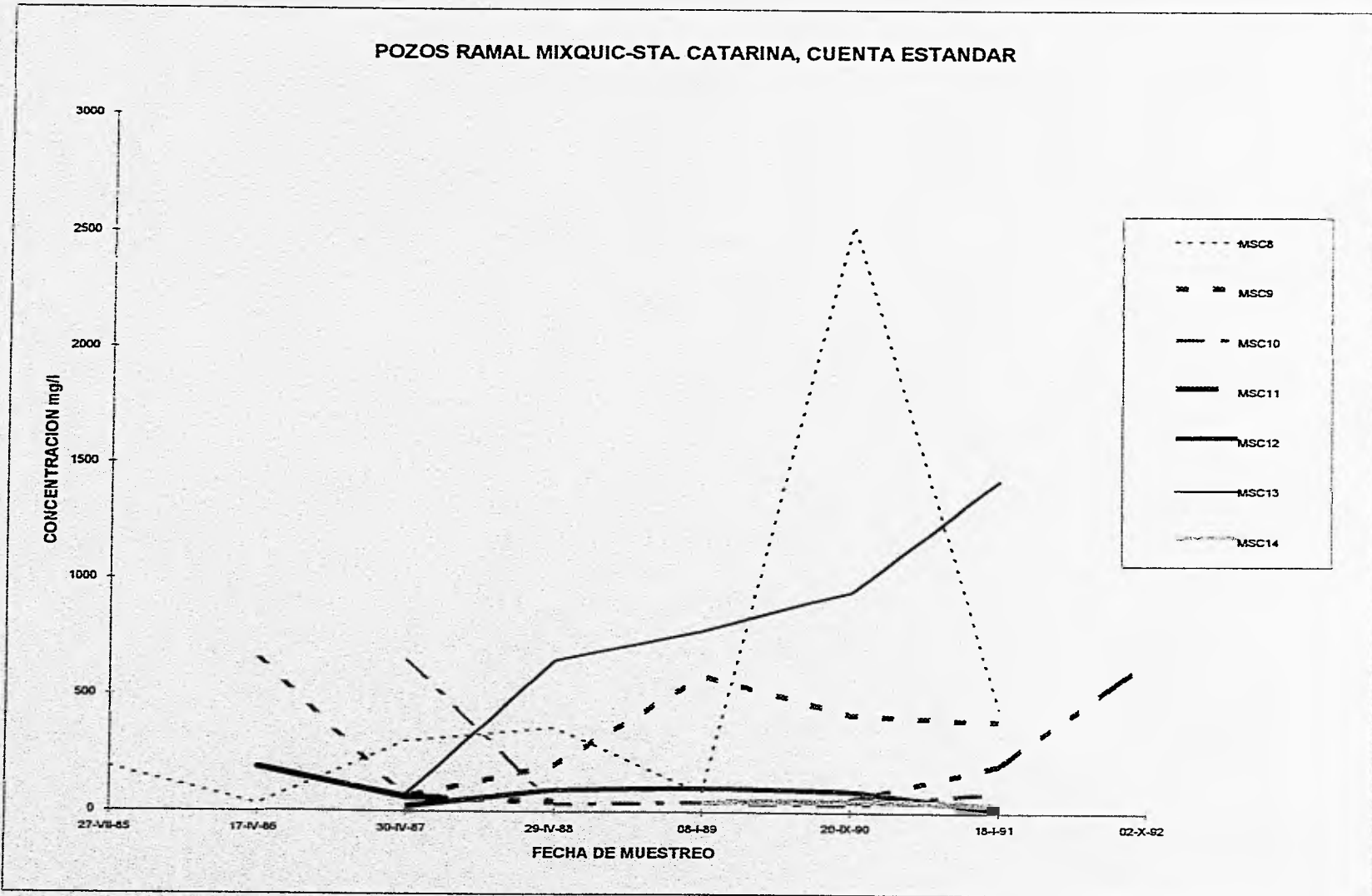


Figura 14.1

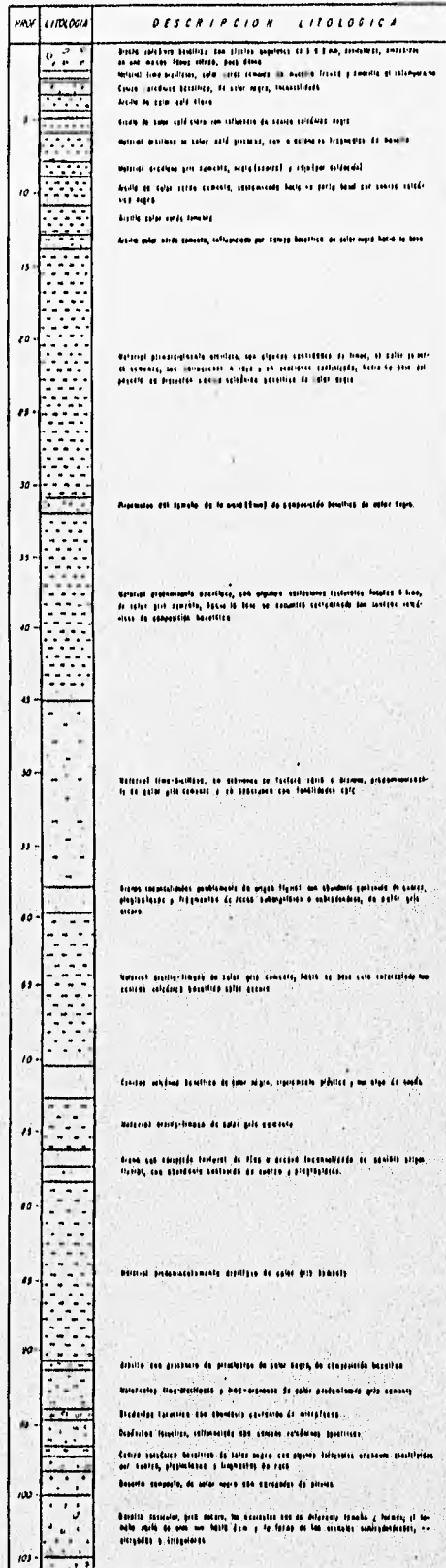
CORTE LITOLOGICO DEL POZO LA CALDERA No 1
[M-1]

PROF. (m)	LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLOGICA	PERMEABILIDAD (m/Día)
1		Limas y calizas, con matriz amarilla (algunas veces con gran fino).	10-12 1.00 x 10 ⁻¹
2		Acuella (laminas de caliza) gris blanca.	
3		Cuerpo carbonoso de compactación (acuella) de caliza negra.	12-142 1.00 x 10 ⁻¹
4		Materiales (compactados) de caliza amarilla, con gran fino.	
5		Distorsión de limas con matriz, de una matriz roja y blanca que persiste.	14-142 1.70 x 10 ⁻¹
6		Acuella (gran fino) de caliza gris oscura, con algo de arena.	14-142 1.00 x 10 ⁻²
7		Acuella (gran fino) de caliza gris oscura.	14-142 1.00 x 10 ⁻²
8		Limas (acuella) con gran fino de gran fino.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
9		Limas (gran fino) de caliza gris oscura.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
10		Materiales (compactados) que (distorsión) en (laminas) rojas y oscuras.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
11		Toda (acuella) (gran fino) de caliza gris oscura.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
12		Depositos (compactados) de limas negras, con algo de gran fino.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
13		Materiales (gran fino) de caliza gris con limas (distorsión). Acuella (gran fino) con presencia de matriz carbonosa.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
14		Depositos (compactados) de caliza gris, con limas (distorsión), (distorsión) (distorsión) (distorsión).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
15		Depositos (compactados) de caliza gris oscura, con gran fino de gran fino.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
16		Materiales (gran fino) de caliza gris (compactada).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
17		Depositos (compactados) de calificación (distorsión), de gran fino (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
18		Cuerpo de (acuella), (distorsión) (distorsión) (distorsión), de origen (distorsión).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
19		Cuerpo (distorsión) de caliza negra, con presencia de limas.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
20		Materiales (compactados) de caliza gris oscura, gran fino de gran fino (gran fino) con gran fino.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
21		Acuella (gran fino) de caliza gris (gran fino) de gran fino (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
22		Depositos (compactados) de caliza negra, con arena (gran fino) de gran fino.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
23		Materiales (compactados) de caliza (gran fino) (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
24		Zona de gran fino de caliza gris oscura, con presencia de (distorsión) (distorsión).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
25		Materiales (compactados) de caliza gris oscura, con presencia de (distorsión) (distorsión).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
26		Cuerpo (distorsión) con (distorsión) de caliza gris oscura (gran fino) (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
27		Cuerpo (distorsión) de compactación (distorsión) de caliza negra.	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
28		Acuella de (distorsión), (distorsión) (distorsión) y (distorsión) de caliza (gran fino) (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹
29		Toda (gran fino) (distorsión) (distorsión) con (distorsión) de caliza (gran fino) (gran fino).	14-142 1.00 x 10 ⁻¹

CORTE LITOLÓGICO DEL POZO LA GRANJA - SANTA CATARINA
[6-1]

PROF. (m)	LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PERMEABILIDAD (D)
0		Terreno superficial con vegetación, fragmentos de basalto y arenosa.	
5		Fragmentos de basalto porfirítico.	
10		Basalto porfirítico y fragmentado.	10-11 1.0 x 10 ⁻¹⁰
15		Basalto.	15-16 1.0 x 10 ⁻¹⁰
20		Basalto columnar.	
25		Basalto.	
30		Basalto.	
35		Basalto.	
40		Basalto.	
45		Basalto.	
50		Basalto.	
55		Basalto.	
60		Basalto.	
65		Basalto.	
70		Basalto.	
75		Basalto.	
80		Basalto.	
85		Basalto.	
90		Basalto.	
95		Basalto.	
100		Basalto.	
105		Basalto.	
110		Basalto.	
115		Basalto.	
120		Basalto.	
125		Basalto.	
130		Basalto.	
135		Basalto.	
140		Basalto.	
145		Basalto.	
150		Basalto.	
155		Basalto.	
160		Basalto.	
165		Basalto.	
170		Basalto.	
175		Basalto.	
180		Basalto.	
185		Basalto.	
190		Basalto.	
195		Basalto.	
200		Basalto.	
205		Basalto.	
210		Basalto.	
215		Basalto.	
220		Basalto.	
225		Basalto.	
230		Basalto.	
235		Basalto.	
240		Basalto.	
245		Basalto.	
250		Basalto.	
255		Basalto.	
260		Basalto.	
265		Basalto.	
270		Basalto.	
275		Basalto.	
280		Basalto.	
285		Basalto.	
290		Basalto.	
295		Basalto.	
300		Basalto.	
305		Basalto.	
310		Basalto.	
315		Basalto.	
320		Basalto.	
325		Basalto.	
330		Basalto.	
335		Basalto.	
340		Basalto.	
345		Basalto.	
350		Basalto.	
355		Basalto.	
360		Basalto.	
365		Basalto.	
370		Basalto.	
375		Basalto.	
380		Basalto.	
385		Basalto.	
390		Basalto.	
395		Basalto.	
400		Basalto.	
405		Basalto.	
410		Basalto.	
415		Basalto.	
420		Basalto.	
425		Basalto.	
430		Basalto.	
435		Basalto.	
440		Basalto.	
445		Basalto.	
450		Basalto.	
455		Basalto.	
460		Basalto.	
465		Basalto.	
470		Basalto.	
475		Basalto.	
480		Basalto.	
485		Basalto.	
490		Basalto.	
495		Basalto.	
500		Basalto.	

CORTE LITOLÓGICO DEL POZO G-2



Los focos contaminantes que existen en el área de estudio; son abundantes y están constituidos por: deshuesaderos, cementerios, canales sin revestir por los que circula agua altamente contaminada, zonas industriales, zonas urbanas sin servicio de drenaje y localizadas en áreas altamente permeables por fracturamiento, y el propio tiradero de Santa Catarina; algunos de estos focos presentan un potencial contaminante muy alto, debido a su posición con respecto a las zonas de recarga del acuífero, o a su posición con respecto a los pozos; tal es el caso de las zonas urbanas asentadas sobre la Sierra Santa Catarina y del Canal de la Compañía, respectivamente.

Durante el desarrollo del estudio, se tuvo la oportunidad de observar la perforación de tres pozos (M1, G1 y G2) y conocer en forma directa los materiales que se encuentran en el subsuelo, así como la columna estratigráfica establecida en el estudio geológico y correlacionar las resistividades obtenidas por geofísica (fig. 15, 16 y 17).

NOTA: La perforación del pozo M1 fue realizada por la empresa "Estudios y Proyectos Moro, S. A." y los pozos G1 y G2 por la empresa "Geotec, S. A."

En la tabla IV.1 se muestran los niveles de agua durante el desarrollo de la perforación del pozo M1.

TABLA IV.1, NIVELES DE AGUA EN EL POZO M1

FECHA	HORA	PROFUNDIDAD DE LA PERFORACION (m)	NIVEL DEL AGUA (m)
07-11-92	09:55	25.00	6.00
08-11-92	-	30.00	6.00
09-11-92	07:00	35.00	15.00
10-11-92	07:00	45.00	2.70
11-11-92	07:00	55.00	10.20
12-11-92	07:00	60.00	26.58
13-11-92	07:30	70.00	15.80
14-11-92	07:30	78.00	20.80
15-11-92	07:25	85.80	19.49
16-11-92	07:30	90.60	18.33
17-11-92	07:15	96.10	20.90
18-11-92	09:40	101.65	19.72
19-11-92	10:30	105.75	29.00
20-11-92	07:30	105.75	19.14
21-11-92	07:25	105.75	22.40
22-11-92	08:00	105.75	15.34
23-11-92	07:45	105.75	14.93
24-11-92	13:00	105.75	17.91
25-11-92	08:00	105.75	17.90
26-11-92	07:30	105.75	17.63
27-11-92	-	105.75	17.80

(Tomados por Estudios y Proyectos Moro, 1992)

En el pozo G1 ubicado en la localidad de La Granja, la compañía Geotec S.A., reportó que el nivel del agua se encontró a los 57 m y que se mantuvo constante a lo largo de toda la perforación que llegó hasta los 120 m de profundidad.

Otra actividad relacionada con los pozos fue su nivelación topográfica, la cual se llevó a cabo para definir la carga hidráulica y la forma en que el agua subterránea se mueve en el acuífero en rocas volcánicas.

A continuación se presentan en forma de tablas los resultados obtenidos en las pruebas de permeabilidad realizadas en los pozos G1 y M1.

TABLA IV.2, RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PERMEABILIDAD POZO G1

INTERVALO DE PROFUNDIDAD (m)	K (cm/s)	•PERMEABILIDAD CUALITATIVA	•• CLASIFICACION COMO ACUIFERO
5 - 10	1.8	Muy alta	Bueno
10 - 15	1.2	Muy alta	Bueno
20 - 25	1.0	Muy alta	Bueno
35 - 40	2.4×10^{-4}	Baja	Pobre
45 - 50	3.7×10^{-3}	Media	Pobre a Bueno
55 - 60	2.7×10^{-3}	Media	Pobre a Bueno
60 - 65	3.8×10^{-4}	Baja	Pobre
65 - 70	3.9×10^{-4}	Baja	Pobre
75 - 80	3.7×10^{-4}	Baja	Pobre
80 - 85	3.6×10^{-4}	Baja	Pobre
95 - 100	3.6×10^{-4}	Baja	pobre
110 - 115	3.2×10^{-4}	Baja	Pobre

- Tomado de Pozos y Acuíferos de A. Iglesias y M. Villanueva
- Tomado de Hidrología Subterránea de E. Custodio y M. R. Llamas

TABLA IV.3, RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PERMEABILIDAD POZO M1

INTERVALO DE PROFUNDIDAD (m)	k (cm/s)	•PERMEABILIDAD	••CLASIFICACION COMOACUIFERO
0 - 5	9.1×10^{-5}	Muy baja	Pobre
5 - 10	4.3×10^{-5}	Baja	Pobre
10 - 15	6.7×10^{-4}	Baja	Pobre
15 - 20	1.9×10^{-4}	Baja	Pobre
20 - 25	3.3×10^{-5}	Baja	Pobre
25-30	1.0×10^{-4}	Baja	Pobre
30 - 35	3.8×10^{-5}	Baja	Pobre
35 - 40	5.5×10^{-5}	Baja	Pobre
40 - 45	6.0×10^{-5}	Baja	Pobre
45 - 50	5.9×10^{-5}	Baja	Pobre
50 - 55	8.2×10^{-5}	Baja	Pobre
55 - 60	1.2×10^{-6}	Baja	Pobre
65 - 70	5.2×10^{-5}	Baja	Pobre

- Tomado de Pozos y acuíferos de A. Iglesias y M. Villanueva
- Tomado de Hidrología Subterránea de E. Custodio y M. R. Llamas

Por último, a algunas muestras obtenidas del pozo M1, se les practicaron análisis granulométricos, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA IV.4, CLASIFICACION GRANULOMETRICA DE LABORATORIO

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION DE LABORATORIO
2.25	Arena fina limosa
3.40	Arcilla limosa
6.38	Arena volcánica
11.25	Arcilla limosa con algunos grumos de carbonato de calcio
16.25	Arcilla limosa con poca arena
28.75	Toba arcillo-arenosa
33.75	Arcilla limosa con vidrio volcánico
41.35	Arcilla limosa con poca arena
51.80	Arcilla limosa
58.50	Arcilla limosa con poca arena fina y media con gravilla
65.00	Arcilla arenosa
68.75	Limo
73.75	Arcilla limosa con algunos grumos de carbonato de calcio
79.53	Toba arcillo-arenosa
87.30	Limo arenoso
93.05	Arena media y gruesa

V. HIDROGEOLOGIA

V.1. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

En base a las características físicas, de las unidades litológicas descritas en el capítulo de geología, se definieron 4 unidades hidrogeológicas, que agrupan a las unidades litológicas que presentan una respuesta similar al paso del agua (plano 2).

V.1.1. UNIDAD HIDROGEOLOGICA I

Esta Unidad presenta permeabilidad alta y se encuentra ampliamente expuesta en toda el área de estudio, principalmente en su porción poniente; en el subsuelo se identificó a través de los sondeos eléctricos verticales, correlacionados con cortes litológicos de pozos. La unidad se encuentra constituida por aluviones, así como por la gran parte de los materiales agrupados como Formación Chichinautzin, conformada por materiales granulares, material piroconsolidado, fracturado y por derrames basálticos con fracturamiento moderado a intenso, de tipo vesicular y con abundantes tubos de explosión; también con brechas volcánicas basálticas, cuyos componentes son altamente vesiculares, empotrados en una matriz arenosa poco consolidada; con lapilli poroso y fácilmente deleznable; estas características le proporcionan a la unidad una permeabilidad alta, por lo que en superficie constituye buenas zonas de recarga y en subsuelo un excelente acuífero.

V.1.2. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS II Y IIa

Estas unidades se diferenciaron en función de que la permeabilidad media, fuera generada por porosidad intergranular o por fracturamiento.

Se encuentran muy pobremente expuestas en superficie, en donde están representadas por pequeños cuerpos aislados de andesitas compactas con fracturamiento moderado (Unidad IIa), constituyendo la parte más alta del Cerro El Pino, Cerros El Tejolote Chico y Grande y Cerro El

Elefante; también conforma al Volcán La Caldera (Unidad II) en donde su permeabilidad media es debida a la porosidad intergranular; en el subsuelo su exposición es más amplia, pues en la Unidad IIa se considera a las rocas emitidas por el Volcán El Pino; por su permeabilidad en superficie puede formar localmente zonas de recarga restringida y en el subsuelo acuíferos de potencialidad media a baja.

Es importante mencionar que hacia la porción oriente de la zona de estudio, donde la Unidad IIa está conformada por la Formación El Pino, en su límite superior existen tobas de granulometría limo-arcillosa, de muy baja permeabilidad, con espesores de hasta 20 m; esto reviste importancia hidrogeológica, sobretodo cuando la unidad descansa bajo la Unidad Hidrogeológica I que presenta permeabilidad alta, pues en este contacto se genera un cambio brusco de permeabilidad que puede provocar la saturación en la última unidad mencionada; esta situación no se presenta cuando el contacto es entre las Unidades III y IIa, ya que la III presenta baja permeabilidad.

La presencia de esta capa superior poco permeable en la Unidad Hidrogeológica IIa, no repercute en el funcionamiento de la zona próxima al tiradero de Santa Catarina, pues hacia esta zona no se presenta.

V.1.3. UNIDAD HIDROGEOLOGICA III

Es la unidad de mayor exposición en el área de estudio; está localizada en la parte norte, oriente y sur del área en cuestión.

Su permeabilidad baja está constituida principalmente por materiales como tobas arcillosas y depósitos lacustres, los cuales presentan escaso fracturamiento y una granulometría muy fina que no permite la formación de acuíferos, sino que le proporcionan las características suficientes para formar un acuitardo que actúa como semiconfinante, tanto en el sentido vertical como lateralmente; estos materiales se encuentran saturados con agua de mala calidad,

que por efectos de la sobreexplotación, están moviendo lentamente esta agua hacia el acuífero profundo que contiene agua de buena calidad (Ortega y Cherry 1991); este es un proceso que provoca contaminación.

TABLA V.1, RESUMEN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS MOSTRANDO SU POSICION ESTRATIGRAFICA

PERMEABILIDAD	CLAVE LITOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO
I	Q(a)	Material granular del tamaño de la arena y limo (aluvión)	Permeabilidad alta, constituye zonas de recarga
	Q(a-pc)	Rocas volcánicas constituidas por productos piroclásticos y lavas basálticas fracturadas parte superior de la litología de la Formación Chichinautzin	Permeabilidad alta constituye zonas de recarga de acuíferos
II	Q(a-pc)	Productos piroclásticos del tamaño de la arena y el limo, compactados, con muy escasas fracturas y alta porosidad, y tobas, asociadas al Volcán La Caldera	Permeabilidad media, debida a porosidad intergranular, constituye zonas de recarga restringida y acuíferos pobres
III	Q(a-b-ag) Q(la)	Alternancia de lavas andesíticas y productos piroclásticos no consolidados, material granular en el que predominan los sedimentos arcillosos; se encuentran alternando con horizontes de granulometría arenosa y arena-limosa; sedimentos lacustres y tobas del Volcán El Pino	Permeabilidad de media a baja debido a fracturamiento moderado en las lavas, constituye acuíferos entre los que se encuentran alternados acuíferos de espesor reducido y con agua de mala calidad
IIa	Tm(a-da-ti)	Coladas de lava andesíticas y dacíticas, fracturadas asociadas al Cerro El Elefante	Permeabilidad media debida a fracturamiento, conforma acuíferos pobres

Estos horizontes funcionan hidrogeológicamente como acuíferos de dimensiones restringidas, que contienen agua de mala calidad, lo cual se debe a las características que existían en el ambiente lacustre en que se acumularon. Durante la perforación del pozo ubicado en la escuela CBTA (pozo M1), se pudo observar que el nivel piezométrico en el pozo era más bajo según avanzaba la perforación (tabla IV.1), lo cual manifiesta que los horizontes acuíferos cortados, tienen menor carga hidráulica según se profundiza.

En el subsuelo se observa a que esta unidad se acuña hacia la porción norte y noreste del área, donde se localizan los Volcanes La Caldera y El Pino, así como la Sierra Santa Catarina (figura 7). Los resultados obtenidos se interpretan en las secciones mostradas en las fig. C1, C2, C3 y C4.

ISOPACAS DE LOS MAT. LAGUSTRES

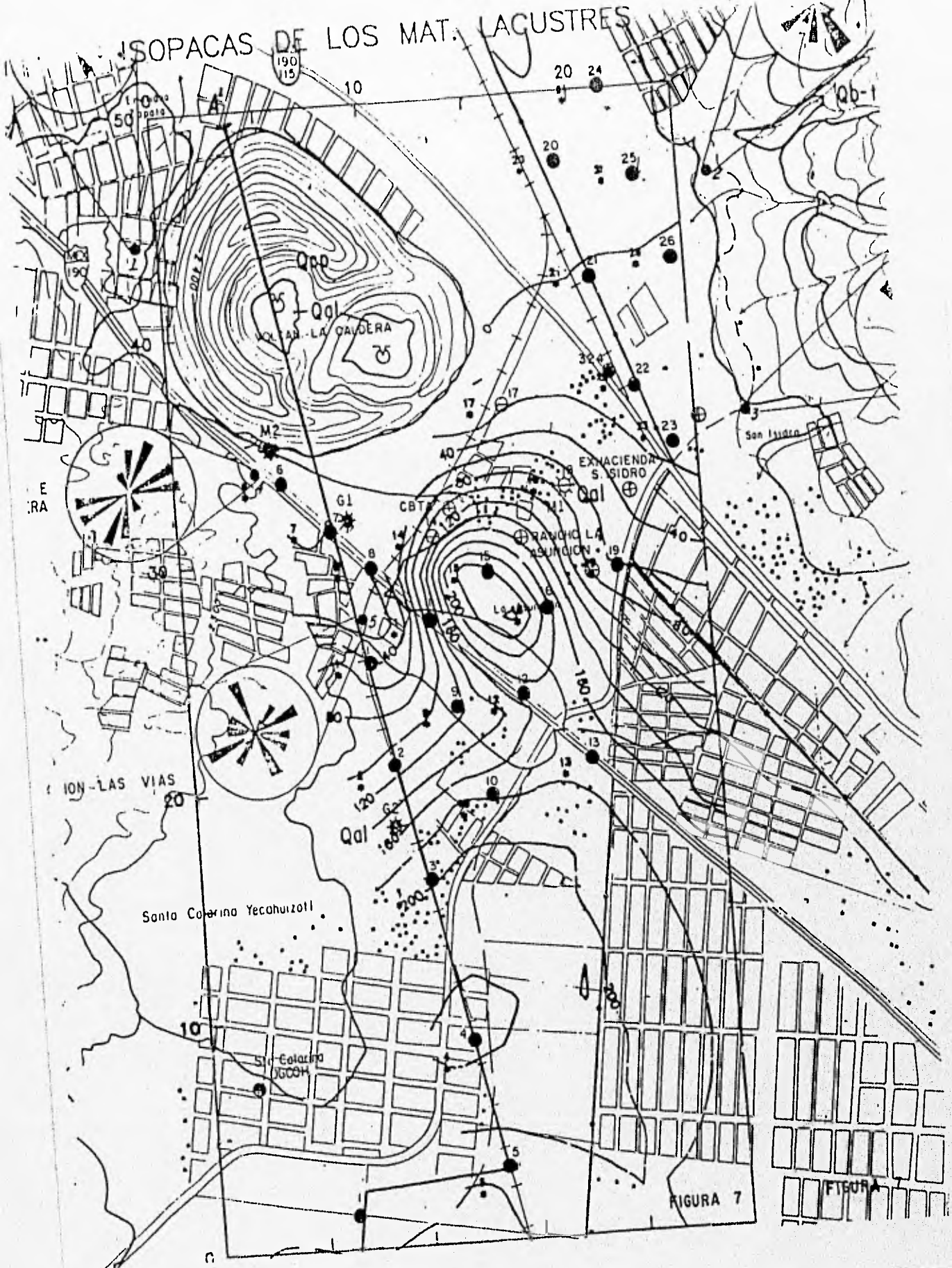
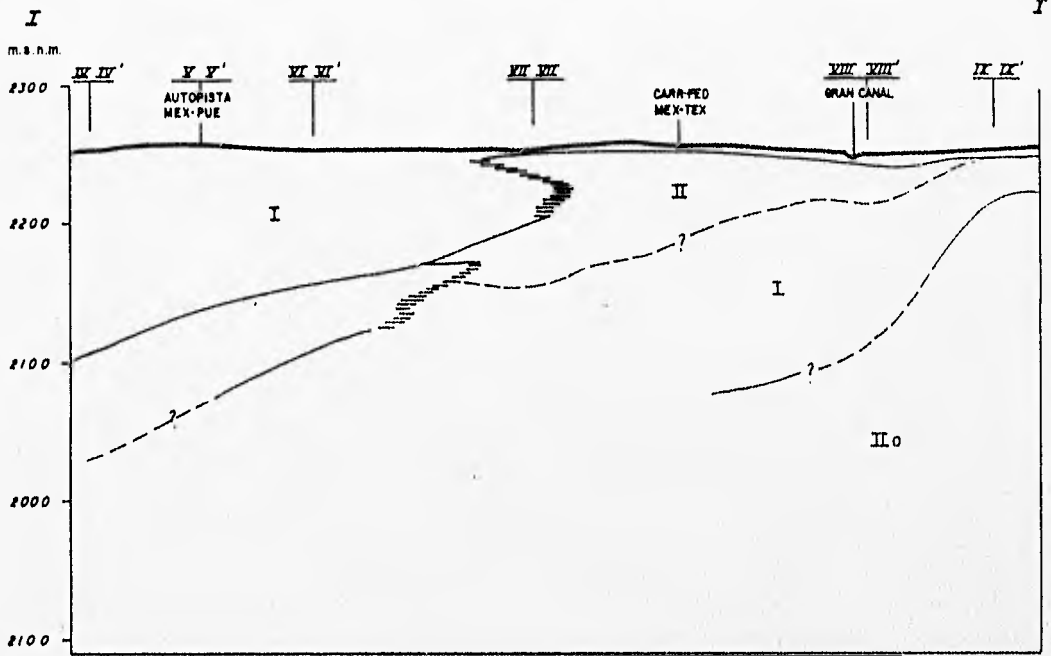


FIGURA 7

FIGURA

SECCION I - I'



SECCION II - II'

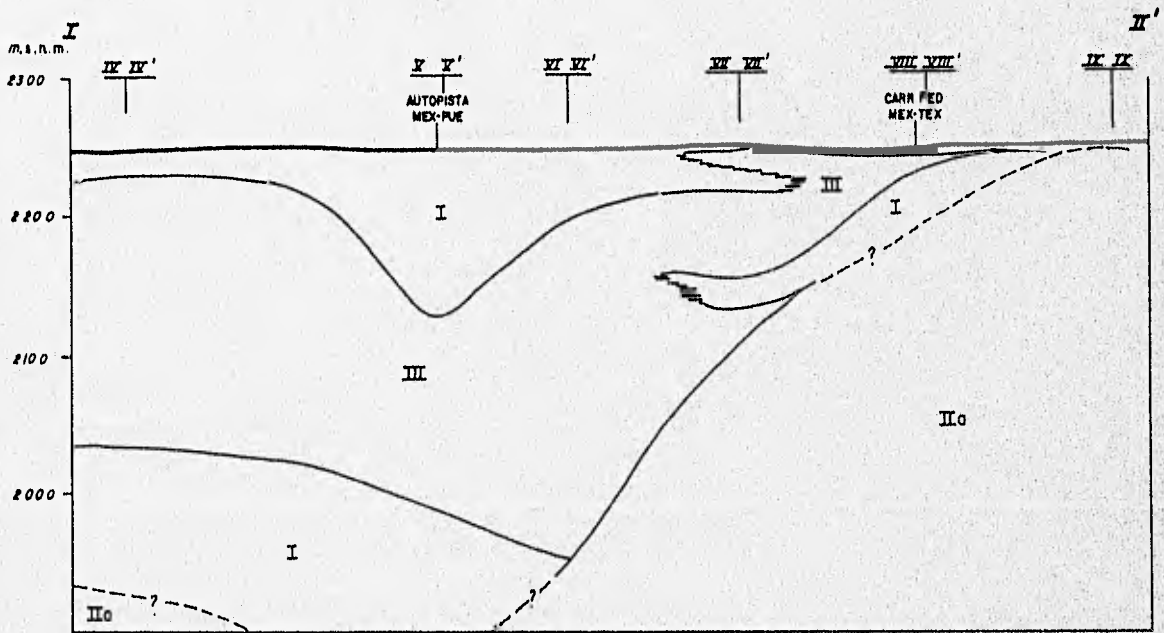
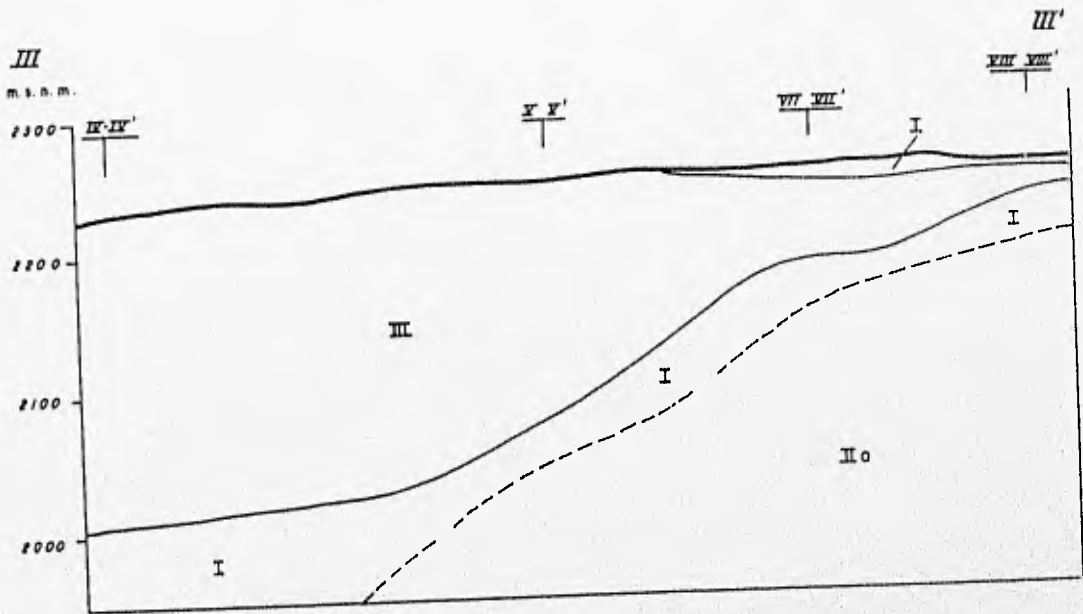


FIG. C1

SECCION III-III'



SECCION IV-IV'

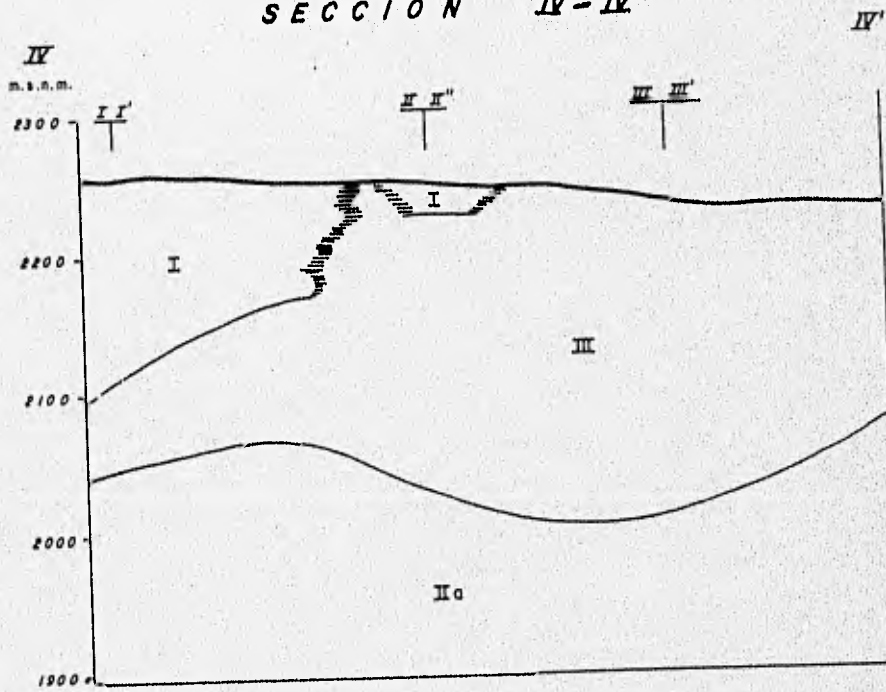
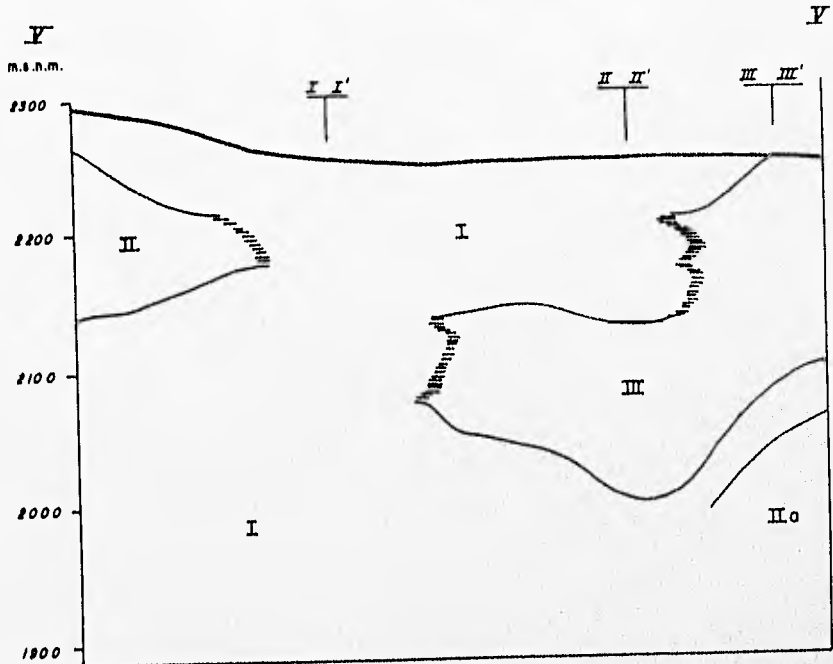


FIG. C 2

SECCION Y-Y'



SECCION VI-VI'

SECCION VII-VII'

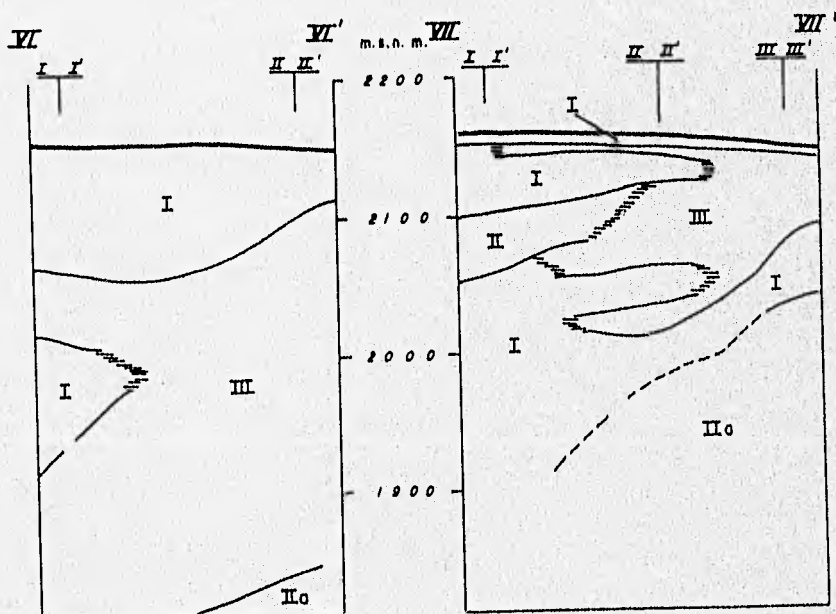
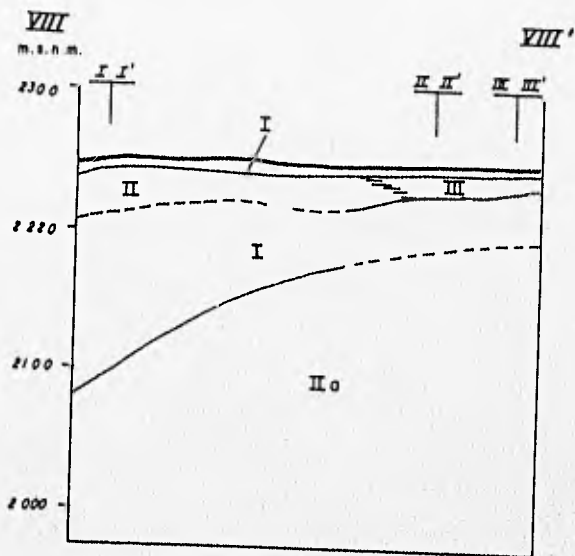


FIG. C 3

SECCION VIII-VIII'



SECCION IX-IX'

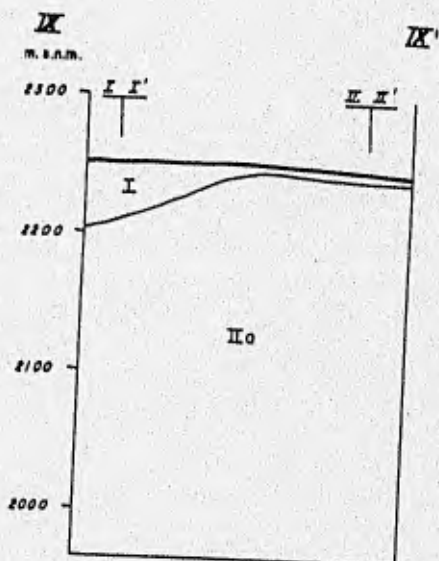


FIG. C4

Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta cuando se habla de esta unidad, es que por efectos de sobreexplotación regional debe estar compactándose, como ocurre en las zonas adyacentes con materiales similares; este proceso de compactación se da con mayor intensidad hacia la zona plana, donde el espesor de la unidad es mayor y en menor proporción hacia la región en donde se acuña (porción noroeste del área de estudio), este proceso de compactación diferencial está comprobado que produce fracturamiento y fallamiento, lo que a su vez incrementa la permeabilidad vertical; por lo anterior el considerar de forma absoluta que la unidad es muy poco permeable a impermeable, puede resultar erróneo.

V.2. MODELO DE FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

Con los estudios geológicos, la integración de la información, los resultados obtenidos de la geofísica y del análisis hidrogeológico, se estableció el modelo de funcionamiento hidrogeológico, el cual es fundamental porque define el mecanismo de recarga, transferencia y descarga del agua subterránea a través de los materiales.

En términos generales en el área existen dos unidades hidrogeológicas importantes: una superficial con agua de mala calidad, relacionada a materiales con alto contenido de arcilla y que actúa como acuitardo y otra que constituye un acuífero con agua de buena calidad, que es explotado a través de pozos profundos.

El acuífero está constituido por rocas volcánicas consolidadas y fracturadas, así como por rocas piroclásticas no compactadas y depósitos aluviales; su espesor saturado es variable, pero puede alcanzar más de 400 m.; el límite inferior del acuífero se ha dicho que lo conforman rocas andesíticas-dacíticas, sin embargo, estas rocas también tienen permeabilidad; el límite superior es variable, ya que en la zona próxima al Volcán La Caldera y Sierra Santa Catarina lo forma el nivel de saturación, pues en estos sitios el acuífero se comporta como libre; en la porción más alejada de las estructuras mencionadas, el límite superior lo forma el paquete de

sedimentos lacustres, que están saturados con agua de mala calidad; las características hidrogeológicas de este límite superior provocan condiciones de semiconfinamiento.

La aseveración de que el acuífero se comporta como libre en la zona de la Sierra Santa Catarina y del Volcán La Caldera, se apoya en los resultados obtenidos en la perforación realizada por la empresa Geotec S.A., en la localidad conocida como La Granja (pozo G1), en donde el nivel de saturación fue encontrado por primera vez a los 57 m aproximadamente y no sufrió variaciones durante toda la perforación que llegó hasta los 120 m de profundidad. Otra información que apoya lo expuesto, son los resultados obtenidos en las pruebas de permeabilidad practicadas en el mismo pozo, que muestran que este parámetro en el peor de los casos tiene valores de 3.2×10^{-4} cm/seg. o su equivalente que es de 0.27 m/día, permeabilidad que cualitativamente puede ser clasificada como baja, propia de acuíferos pobres (Custodio y Llamas, 1983).

La recarga del acuífero, en la zona de estudio, se lleva a cabo directamente a través de los materiales altamente permeables que afloran en la Sierra Santa Catarina (donde el acuífero se comporta como libre), o sea en la Formación Chichinautzin. Por otra parte, el acuífero también recibe aportación de agua del acuitardo que lo cubre, en este caso el agua no es de buena calidad.

En la zona del Volcán El Pino, debido a que en superficie está cubierto casi en su totalidad por materiales con alto contenido limo-arcilloso, (Formación El Pino) la infiltración es reducida, por lo que agua que se precipita tiende principalmente a escurrir; sin embargo en los sitios donde el basalto fracturado aflora existe recarga.

En la parte sur de la zona de estudio (planicie lacustre), no existe una recarga vertical debida a la precipitación, debido a la presencia del material lacustre, que más que percolación permite la formación de cuerpos de agua superficiales, que permanecen durante largos periodos de tiempo, aún después de haber pasado la época de lluvias.

La única descarga del acuífero es artificial y producida por la extracción de los pozos profundos.

En este trabajo se llevaron a cabo actividades como: censo de obras de captación, medición de la profundidad del nivel piezométrico, nivelación topográfica de brocales, para establecer una red de flujo que permitiera detallar la forma en que el agua se mueve; de esta forma se pudo establecer que: no existe influencia en la trayectoria que sigue el agua subterránea, por el fracturamiento presente en las unidades volcánicas, debido a que este fracturamiento se da en todas direcciones y no manifiesta una tendencia preferencial; por otra parte, la Sierra de Santa Catarina y los Volcanes La Caldera y El Pino, están conformando un parteaguas tanto superficial como subterráneo, que provoca que a partir de estas estructuras el flujo se dirija al noreste y al suroeste, siendo mucho más somero el nivel piezométrico en esta segunda dirección. Más hacia el sur, en las cercanías del Cerro Xico, el movimiento del agua subterránea es en dirección este-oeste.

El banco de nivel usado para la nivelación topográfica de los brocales de los pozos, es de 2308.894 m s.n.m.

V.3. INTEGRACION DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos en los estudios geológico, geofísico, hidrogeoquímico e hidrogeológico, se establece que:

1. El tiradero de Santa Catarina fue ubicado directamente sobre las rocas basálticas más jóvenes de la Sierra Santa Catarina que tienen permeabilidad alta, así como sobre las tobas emitidas por el Volcán La Caldera, que tienen permeabilidad media (Formación Chichinautzín), lo que permite primeramente un flujo muy rápido de los lixiviados hacia el subsuelo, que se ve disminuido al llegar al contacto con las tobas; esta es la razón (cambio de permeabilidad) por la cual los pozos de monitoreo en el basurero registran nivel de lixiviado.

2. Los resultados del estudio geológico permitieron establecer la secuencia de eventos ocurrida en la zona y definir que los materiales derivados de la actividad ígnea (materiales de la Sierra Santa Catarina o Formación Chichinautzin), están interdigitados con sedimentos de origen lacustre; los cuales alcanzan su mayor espesor hacia la planicie y se acuñan en los límites con los Volcanes La Caldera y El Pino y la Sierra Santa Catarina; por lo anterior el acuífero en la proximidad a estas estructuras se comporta como libre.

3. El análisis estructural de la zona, permitió establecer que en los materiales ígneos el fracturamiento no presenta una orientación definida o preferencial, por lo que los factores que gobiernan la forma en que el agua subterránea se mueve, están relacionados con la ubicación geográfica y topográfica de los materiales permeables; en la zona estos materiales se localizan principalmente en la Sierra Santa Catarina.

4. El estudio geofísico de resistividad (SEV's), correlaciona la información geológica y de cortes litológicos de pozos, estos datos permitieron realizar un plano de isopacas (fig. 7), en donde se puede apreciar que los depósitos lacustres se pierden por acuñamiento o alcanzan sus menores espesores hacia las estribaciones de la Sierra Santa Catarina y de los Volcanes La Caldera y El Pino, lo que permite que en esta zona, los fluidos puedan migrar hacia el acuífero.

5. De igual manera esta información permitió establecer la distribución de los materiales en el subsuelo, como se puede observar en las secciones geológicas esquemáticas descritas en el capítulo III (Geofísica).

6. Se concluye que la zona en donde se ubica el tiradero de Santa Catarina, presenta las características naturales suficientes, como para que el basurero sea un foco potencialmente contaminante, ya que está ubicado sobre rocas con permeabilidad muy alta alternadas con otras

de permeabilidad media a baja, pero probablemente fracturadas por asentamiento, y que en conjunto funcionan como zonas de recarga.

7. De acuerdo a la disposición de los materiales en la superficie, a su permeabilidad y lo observado en relación con la dirección del flujo del agua subterránea, la zona con más probabilidades de estar contaminada por efecto de los lixiviados derivados del basurero, es la porción ubicada al sur y sureste del mismo, en donde sería muy conveniente construir pozos de monitoreo (fig. 22).

8. Es importante hacer notar que además del tiradero de Santa Catarina, existen en la zona otras fuentes que son potencialmente contaminantes, como son: áreas urbanas sin drenaje ubicadas en zonas permeables, canales de aguas negras sin revestimiento, panteones, deshuesaderos, basureros clandestinos, e industrias de tipo química y metal-mecánica.

9. Existen manifestaciones en la zona que indican contaminación, algunas de las detectadas son:

a) Los pozos del CEAS emplazados en la cercanía del Canal La Compañía (no revestido), presentan propiedades organolépticas desagradables (malos olores).

b) Presencia de biogas en el pozo del CBTA.

c) Presencia de biogas entre el contacto de rocas piroclásticas y basalto en las inmediaciones del sitio conocido como La Granja.

d) Agua de color amarillento y olor desagradable en el Pozo Santa Catarina 1, que controla la DGCOH.

10. Por último, se considera que la contaminación presente en los pozos de los ramales Santa Catarina y Mixquic-Santa Catarina, no es ocasionada por el tiradero, sino por los desechos derivados de las zonas urbanas sin drenaje, asentadas en la Sierra Santa Catarina.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

VI.1. CONCLUSIONES:

El estudio desarrollado permitió definir que el basurero se ubicó sobre materiales con permeabilidades que varían de altas a medias y con el pozo G1 se pudo determinar que alternados con estos materiales existen otros con permeabilidades bajas. Es muy importante hacer notar que cuando se habla de permeabilidades bajas, se manejan cifras del orden de centímetros por día, lo cual está muy lejos de representar a un material impermeable, ya que significan cuando menos 4 m por año; esta permeabilidad fue medida en el sentido horizontal.

La permeabilidad en el sentido vertical no se conoce, sin embargo la sobreexplotación a que está sometida toda la región, provoca en la misma asentamientos y agrietamientos, sobre todo en los materiales arcillosos; este proceso afecta también a la zona de estudio y puede provocar por agrietamientos incrementos en la permeabilidad, por lo que el basurero es un foco potencialmente contaminante.

Se estableció que el agua subterránea en la parte inmediata al basurero se mueve en dirección NW-SE, por lo que no es posible que los pozos del ramal Mixquic-Santa Catarina puedan ser contaminados por los lixiviados derivados del basurero; su contaminación se atribuye a las aguas residuales derivadas de las zonas urbanas asentadas sobre la Sierra Santa Catarina, ya que no cuentan con drenaje y están ubicadas sobre rocas altamente permeables, en las que el agua se mueve a través de fracturas.

Otra fuente de contaminación que afecta al acuífero profundo, en la parte donde éste está cubierto por sedimentos lacustres, es el agua que proviene de estos últimos, que funcionan como un acuitardo que por diferencia de cargas hidráulicas cede sus aguas de mala calidad al acuífero citado.

Adicionalmente fueron detectados otros focos de contaminación, como son deshuesaderos, basureros, canales sin revestir por los que circulan aguas altamente contaminadas.

Por último, se concluye que de acuerdo al modelo de funcionamiento hidrogeológico de la zona, el área que puede ser contaminada por los lixiviados derivados del basurero de Santa Catarina, es la localizada al sureste del mismo (figura 22) y esto sólo puede ser comprobado a través de pozos de monitoreo.

VI.2. RECOMENDACIONES:

1. Con objeto de que no se continúen generando lixiviados en el tiradero de Santa Catarina, se recomienda cerrarlo a la brevedad posible e impermeabilizarlo, con algún material que garantice que no continúe la infiltración de agua de lluvia a la basura.

2. Construir pozos de monitoreo en la zonas marcadas en la figura 22, a fin de identificar los contaminantes que provengan del basurero, su concentración y con ésto comprobar la dirección de flujo que sigue el agua en el acuífero y su capacidad de autodepuración y/o dilución de los contaminantes.

3. Iniciar con la perforación del pozo PM2 (pozo de monitoreo), si en éste no se detecta algún contaminante que provenga del basurero, no se considera conveniente perforar en el pozo PM3.

4. Hacer un análisis detallado de los lixiviados que se están generando en diferentes partes del basurero, a fin de llevar a cabo una caracterización de los mismos, que permita definir que iones, elementos o compuestos deberán ser buscados en los pozos de monitoreo.

5. Para llevar a cabo la definición de los iones, elementos o compuestos a monitorear, se debe tomar en cuenta que en el agua subterránea que pasa por debajo del basurero, ya están incorporados contaminantes provenientes de la zona urbana de Santa Catarina, por lo que sería muy conveniente realizar también una caracterización de los desechos de esta población.

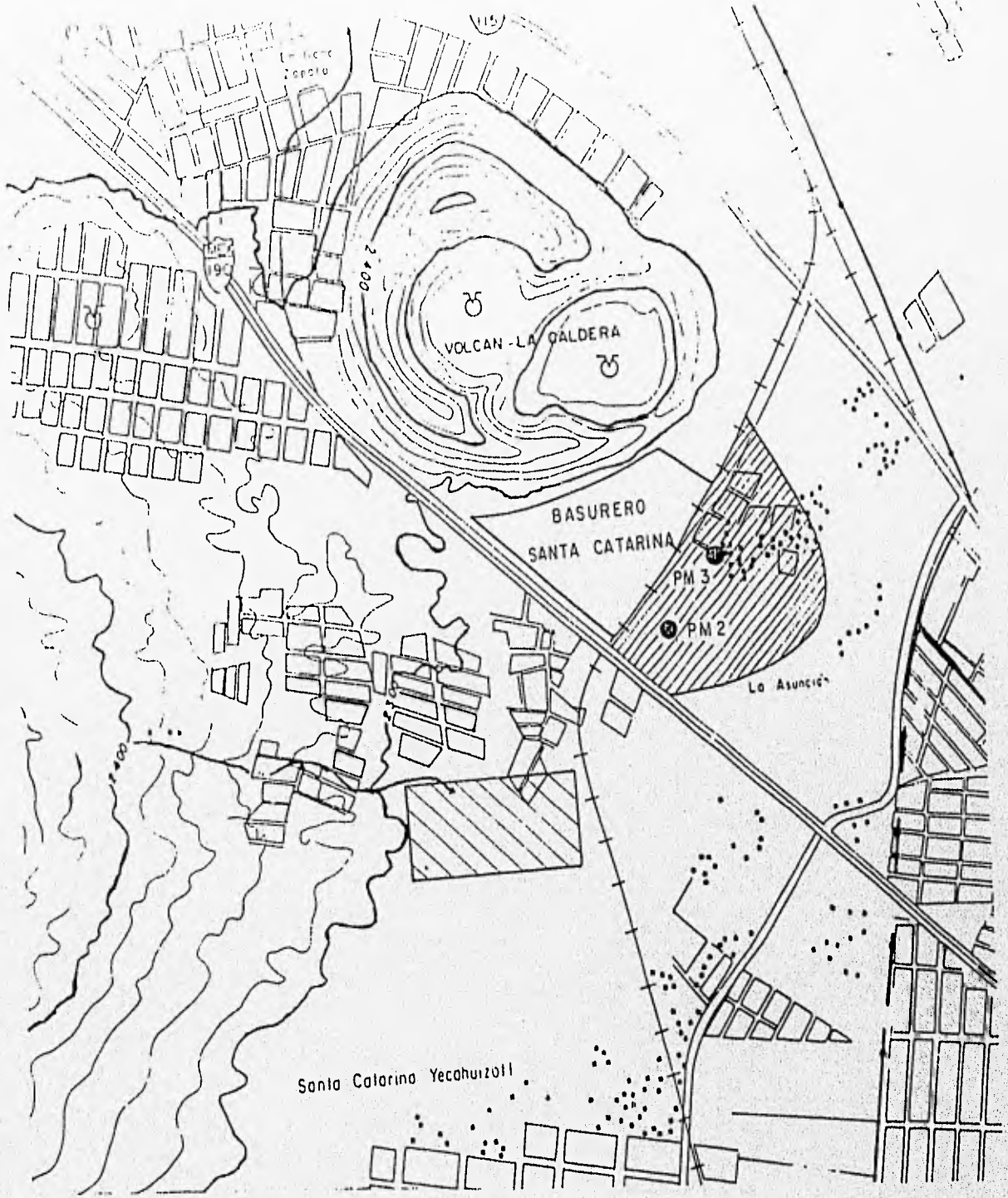
6. Si se considera necesario perforar más pozos de monitoreo, se debe tomar en cuenta que conforma más alejados se ubiquen los pozos del tiradero, existen más focos de contaminación que puedan incorporarse contaminantes al agua subterránea, por lo que en cada caso se deberá hacer un análisis detallado de los focos de contaminación y sus derivados.

7. Con los resultados obtenidos de los pozos de monitoreo y con el conocimiento del fracturamiento hidrogeológico planteado en este estudio, programar la localización de pozos que extraigan agua y contaminantes, a fin de evitar que estos al seguir su trayectoria, continúen contaminando la zona.

8. Obtener núcleos de roca volcánica inalterada del Volcán La Caldera, para hacer un análisis químico de sus constituyentes y establecer en el laboratorio su capacidad de intercambio iónico y de reacción química con los lixiviados derivados del tiradero, con objeto de establecer la capacidad de depuración que este material tiene.

9. Realizar análisis del gas que sale del pozo CBTA, con objeto de evaluar si proviene de la degradación de los sedimentos lacustres orgánicos, o del tiradero.

10. Perforar un pozo de monitoreo en el área recomendada en la fig. 22 para el pozo PM4, que permita comprobar la contaminación ocasionada por la zona habitacional ubicada sobre la Sierra Santa Catarina.



ZONA QUE PUEDE SER CONTAMINADA POR EL BASURERO

PM 3

POZO PROPUESTO PARA MONITOREO.



AREA RECOMENDADA PARA PERFORAR EL POZO PM 4

FIGURA 22

BIBLIOGRAFIA:

BELLIA, S. et al , El Valle de México, Instituto Italo-Latino Americano, Italia, 1992.

CHOUTEAU, Michael, et al, Study of Santa Catarina aquifer system (Mexico basin) using magnetotelluric soundings, Journal of applied geophics, Holanda, 1994.

CUSTODIO, E. y Llamas, M. R., Hidrología subterránea, Editorial Omega, España, 1983.

DAMON, E. P. et al, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis, Rev. Inst. Geología-UNAM, México, 1981.

DE CSERNA, Z. et al, Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México, Inst. de Geofísica-UNAM, México, 1988.

DEMANT, Alain, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación, Inst. de Geología-UNAM, México, 1978.

DEMANT, Alain, Contribución a la definición de las diferentes fases volcánicas y tectónicas del Eje Neovolcánico Mexicano, Congreso Latinoamericano de Geología, México, 1978.

FRIES, C., Jr., Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, Inst. de Geología-UNAM, México, 1960.

FRIES, C., Jr., Resumen de la Geología de la Hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y de México, Inst. de Geología-UNAM, México, 1962.

GONZALEZ, Tomás, Estudio hidrogeofísico de la subcuenca de Chalco (disertación doctoral), CCH, México, 1992.

LESSER, J. M., Actividades geohidrológicas en el Valle de México, D. D. F., México, 1984.

LUGO, José, et al, Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D. F. México, Inst. de Geología-UNAM, México, 1984.

MARTIN DEL POZZO, A. L., Monogenetic vulcanism in Sierra Chichinautzin, Bull. Volcanol., México, 1982.

MOOSER, Federico, The mexican volcanic belt: structure and tectonic, Inst. de Geofísica-UNAM, México, 1960.

MOOSER, Federico, et al, Características geológicas y geotécnicas del Valle de México, D. D. F., México, 1986.

MOOSER, Federico, El Eje Neovolcánico Mexicano, Soc. Geol. Mexicana, México, 1972.

MOOSER, Federico, Historia geológica de la Cuenca de México, D. D. F., México, 1975.

MOOSER, Federico, et al, Origen probable de la Faja Volcánica Transmexicana, 1ª. Convención Nacional, México, 1970.

MOOSER, Federico, The mexican volcanic belt: structure and tectonics, Inst. de Geofísica-UNAM, México, 1972.

ORTEGA, G. Adrián y Cherry John A., Hidrogeology and large scale aquitard subsidence induced by groundwater extraction in Chalco basin near Mexico city, University of Waterloo, Canadá, 1991.

RAISZ, E., Landforms of Mexico, Cambridge, Mass., USA, 1964.

RODRIGUEZ, R. T. y González T., Comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero de la subcuenca de de Chalco, Inst. de Geología-UNAM, México, 1989.

SHERIDAN, F. M. y H. K. Wohletz, Hidrovolcanism: Basic considerations and review, *J. Volcanol. Geotherm*, 1983.

URRUTIA, J. F. y Del Castillo Luis, Un modelo del Eje Volcánico Mexicano, Soc. Geol. Mexicana, México, 1977.

VAZQUEZ-SANCHEZ, Eliseo y Jaimes-Palomera, L. R., Geología de la Cuenca de México, Geof. Internacional, México, 1992.

Anuario Estadístico del Distrito Federal, INEGI, México, 1994.

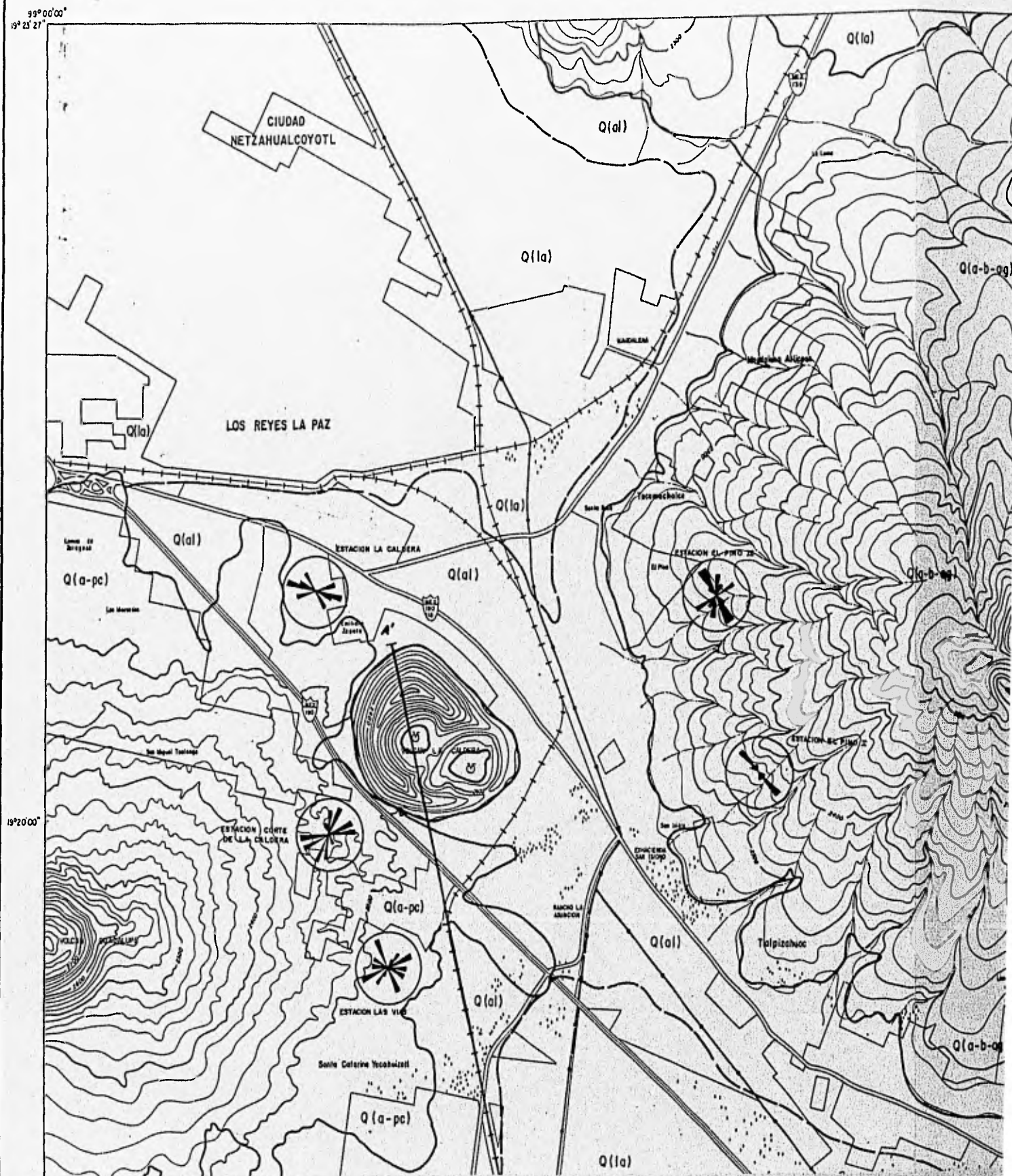
Anuario Estadístico del Estado de México, INEGI, México, 1994.

Diario Oficial de la Federación, S.S.A., México, 1996.

Hidrología del estado de Sinaloa, INEGI, México, 1990.

Geología de la República Mexicana, INEGI-UNAM, México, 1984.

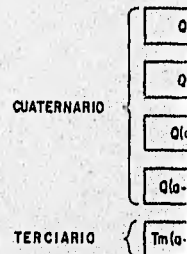
99° 00' 00"
19° 23' 27"



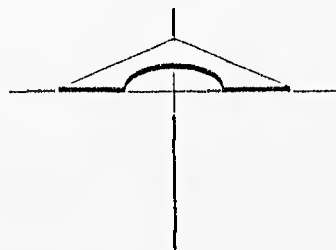
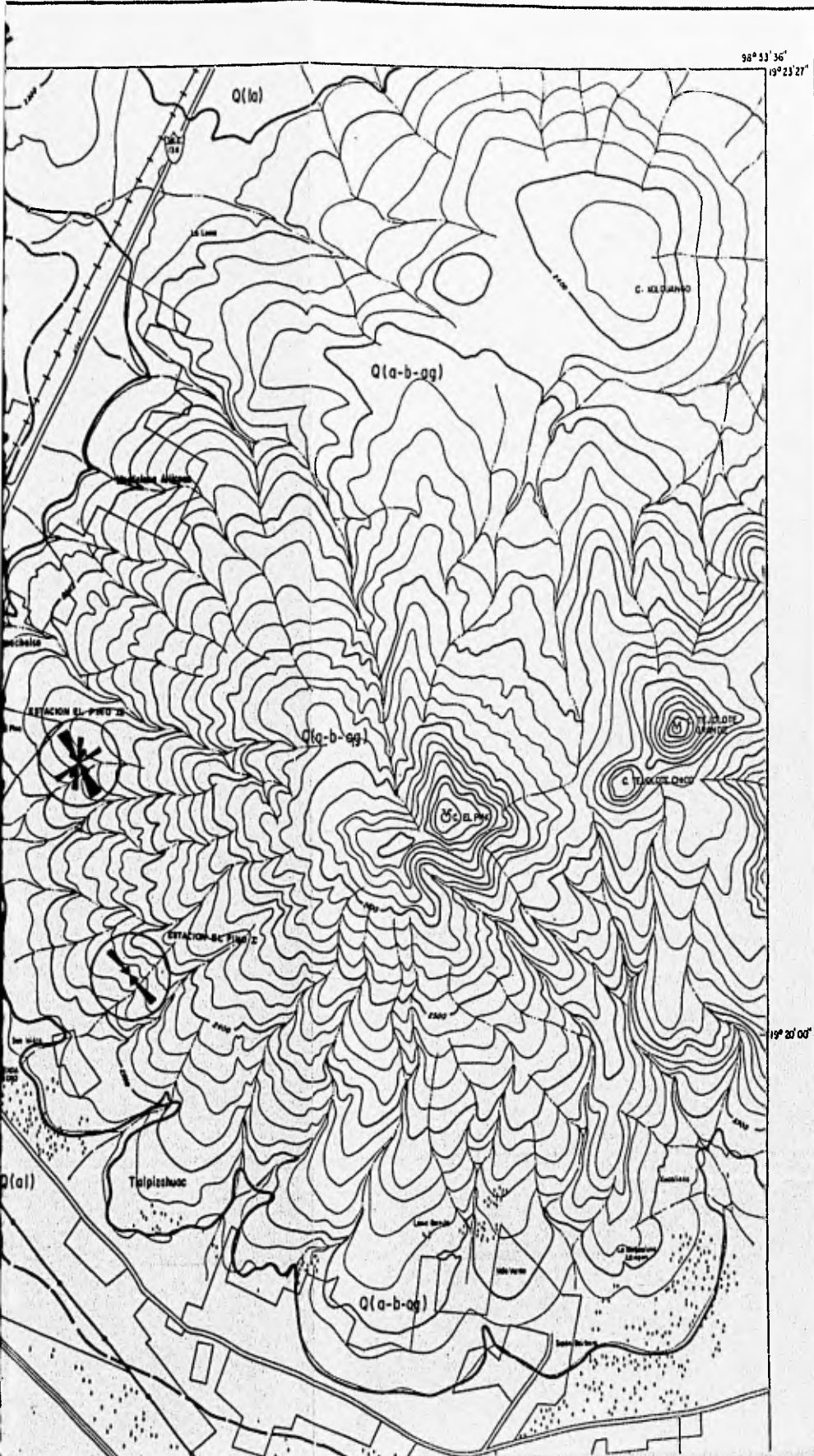
98° 53' 36"
19° 23' 27"



L E



SIM
CONTACTO GEOLO.
SECCION GEOLO.



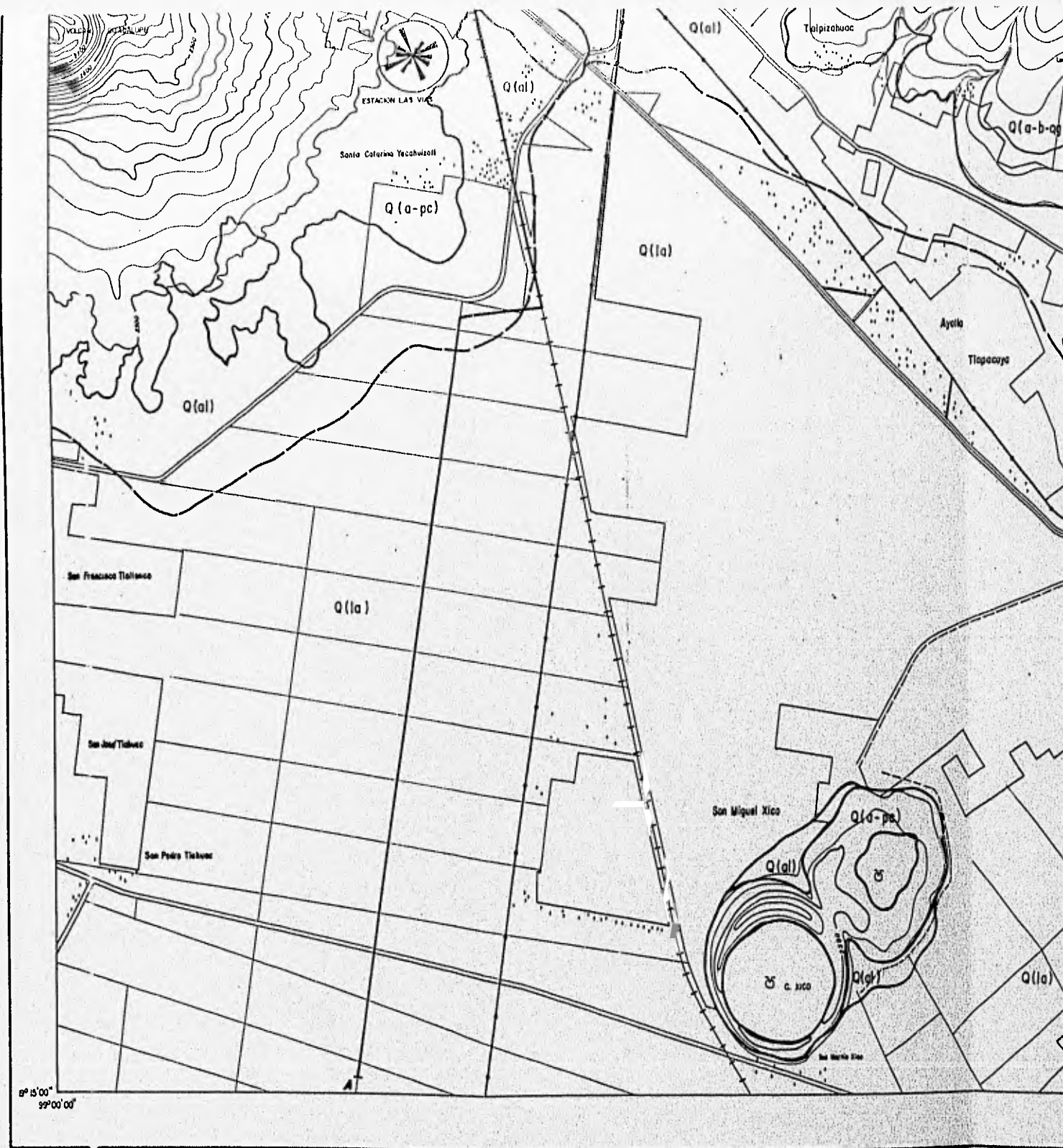
L E Y E N D A

CUATERNARIO	Q(la)	LACUSTRE
	Q(al)	ALUVION
	Q(a-p-c)	ANDESITA - PIROCLASTICO
	Q(a-b-agg)	ANDESITA - BASALTO - AGLOMERADO
TERCIARIO	Tm(a-da-ll)	ANDESITA - DACITA - TOBA INTERMEDIA

SIMBOLOS GEOLOGICOS

CONTACTO GEOLOGICO _____

SECCION GEOLOGICA A - A' _____



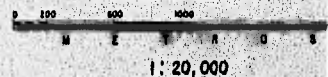


CONTACTO GEOLÓGICO _____
 SECCIÓN GEOLÓGICA A - A' _____

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

CUADRO O PUEBLO PRINCIPAL	
CARRETERA FEDERAL	
CARRETERA DE CUOTA	
CARRETERA PAVIMENTADA	
BRECHA	
FERROCARRIL	
CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS	
CUPA DE NIVEL ORDINARIA	
ARROYO INTERMITENTE	
CANAL	
BANCO DE MATERIAL	
APARATO VOLCÁNICO	

ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

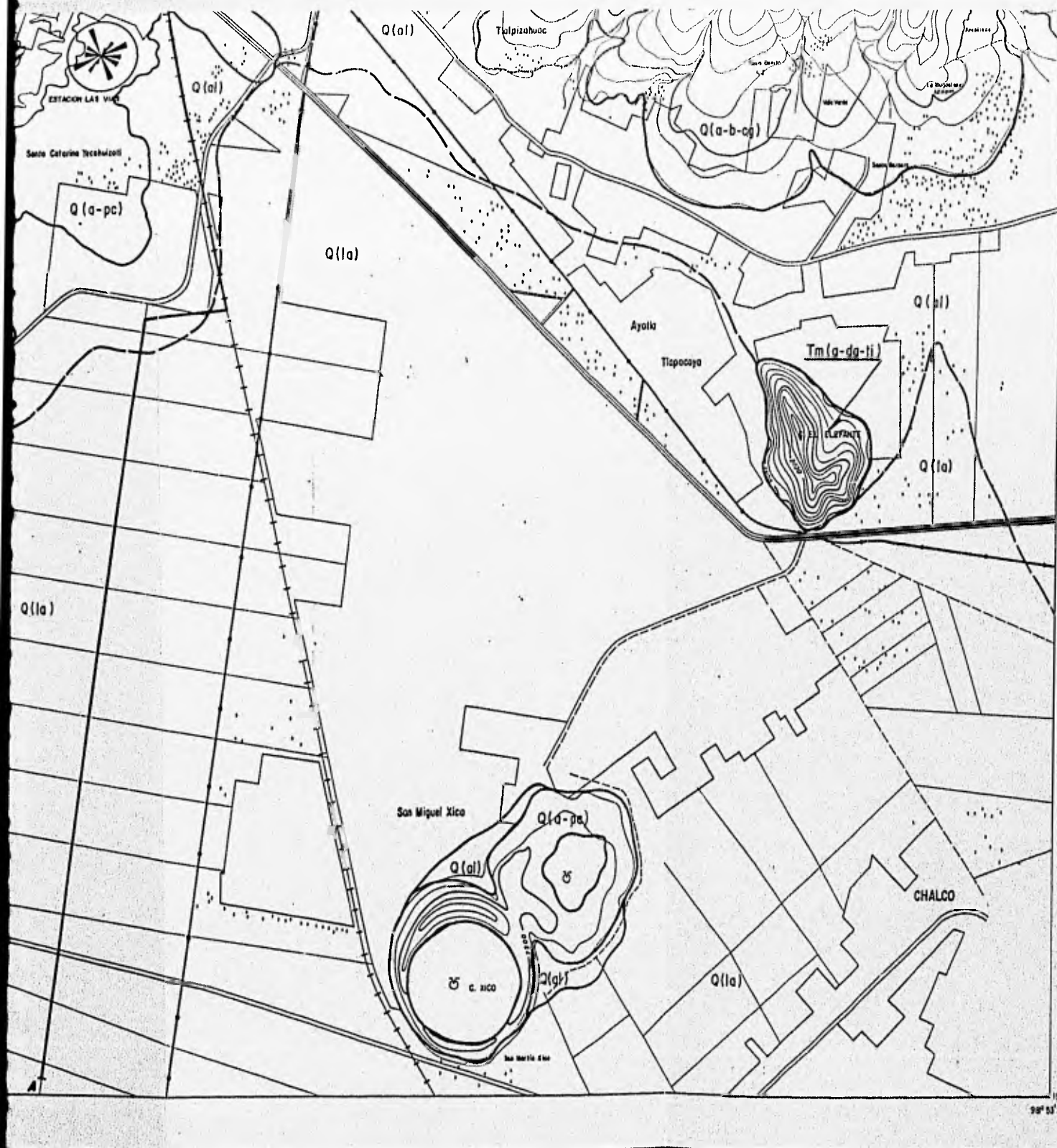
PROYECTO:
 ESTUDIO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE SANTA CATARINA

PLANO:
 PLANO GEOLÓGICO

NOMBRE:
 R. ALEJANDRO FRISANCHO

ESCALA: INDICADA	FECHA: AGOSTO DE 1996	NÚM. DE HOJAS
---------------------	--------------------------	------------------

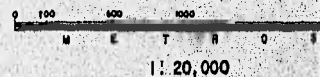
CONTACTO GEOLOGICO _____
 SECCION GEOLOGICA A - A' _____



SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

- CIUDAD O POBLADO PRINCIPAL _____
- CARRERA FEDERAL _____
- CARRERA DE CUOTA _____
- CARRERA PAVIMENTADA _____
- BRECHA _____
- FERROCARRIL _____
- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS _____
- CURVA DE NIVEL ORDINARIA _____
- ARROYO INTERMITENTE _____
- CANAL _____
- BANCO DE MATERIAL _____
- APARATO VOLCÁNICO _____

ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA

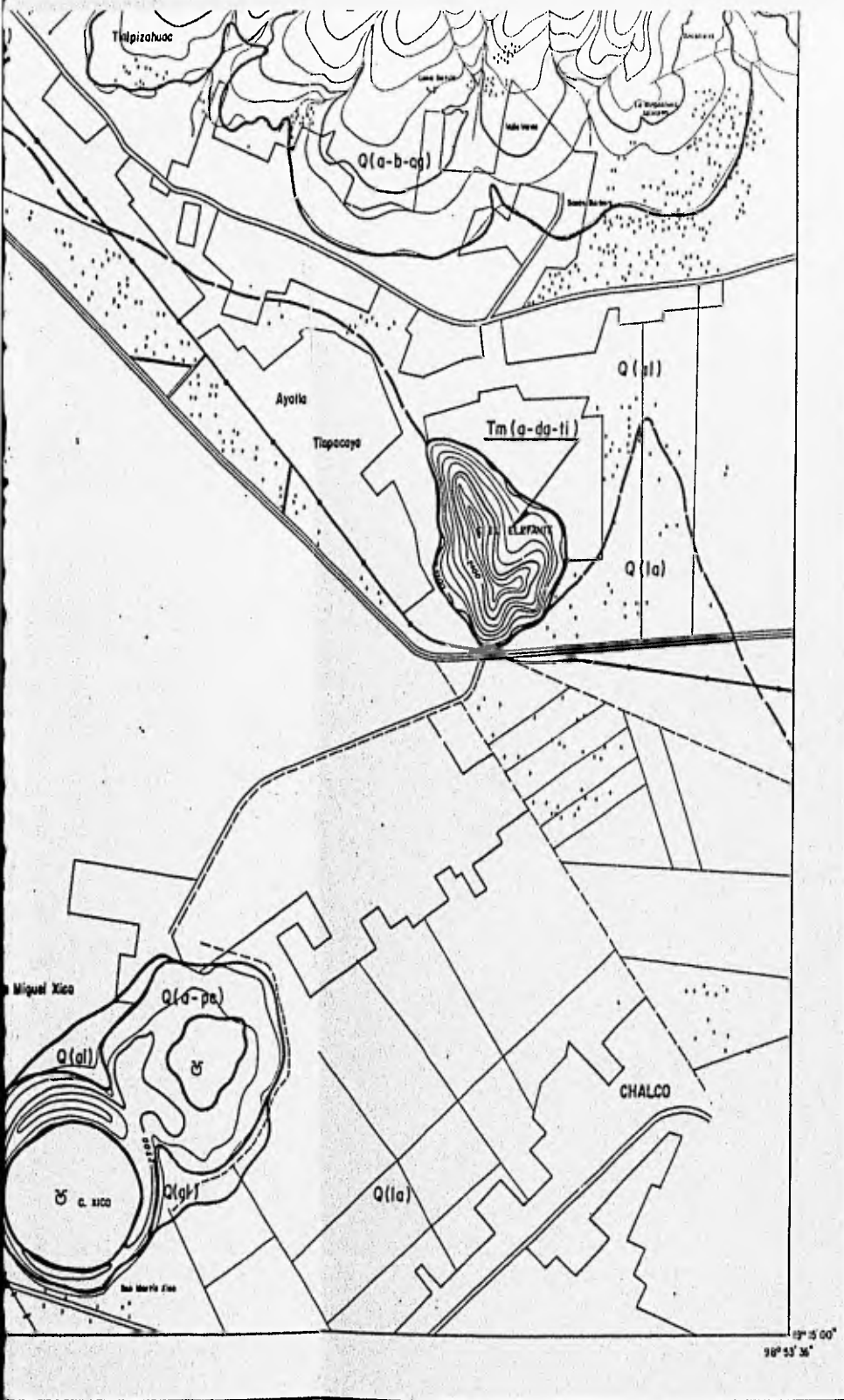
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO:
 ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA DE SANTA CATALINA

PLANO: PLANO GEOLOGICO

NOMBRE: R. ALEJANDRO FRISANCHO

ESCALA: INDICADA	FECHA: AGOSTO DE 1996	Nº:
---------------------	--------------------------	-----

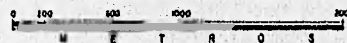


CONTACTO GEOLÓGICO
 SECCIÓN GEOLÓGICA A - A A - A

SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS

CUADRO O FORLADO PRINCIPAL	
CARRETERA FEDERAL	
CARRETERA DE CUOTA	
CARRETERA PAVIMENTADA	
BANCA	
FERROCARRIL	
CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS	
CURVA DE NIVEL ORDINARIA	
ARROYO INTERMITENTE	
CANAL	
BANCO DE MATERIAL	
APARATO VOLCÁNICO	

ESCALA GRÁFICA



1 : 20,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO:
ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ÁREA DE SANTA CATARINA YECAHUZZOTL

PLANO:
PLANO GEOLÓGICO

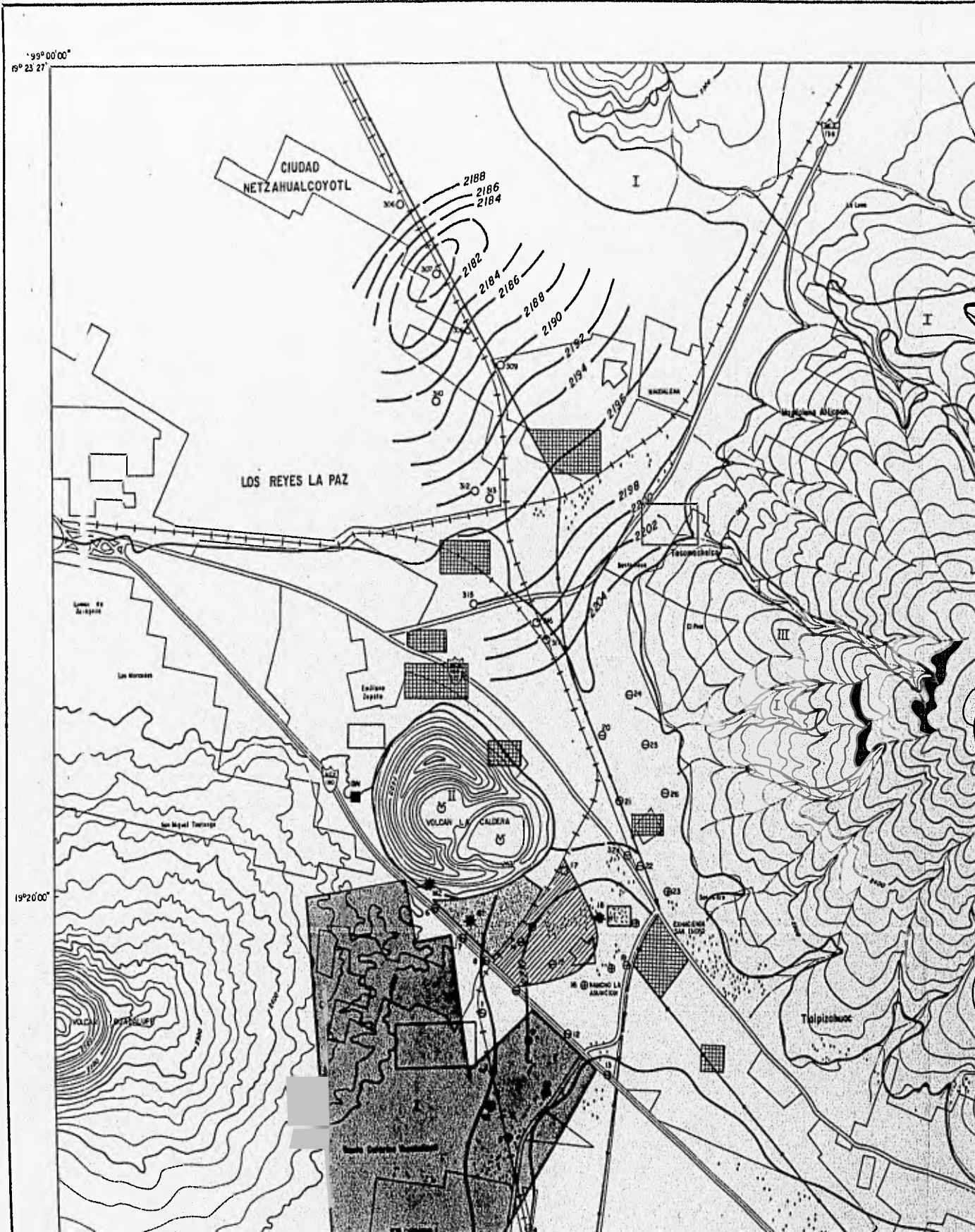
NOMBRE:
R. ALEJANDRO FRISANCHO ORTIZ.

ESCALA:
INDICADA

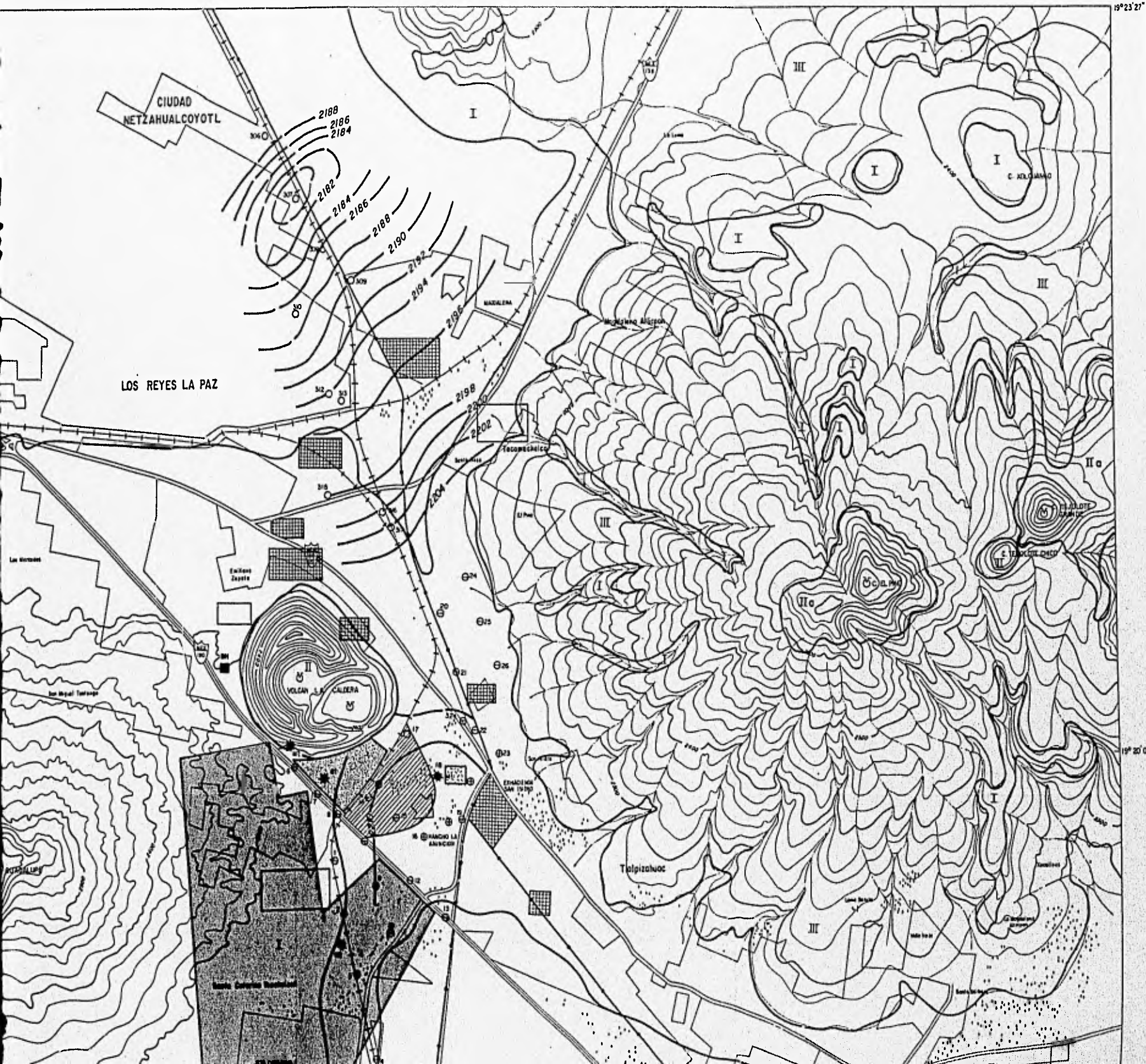
FECHA:
AGOSTO DE 1996

Nº. DE PLANO:
1

99°00'00"
19°23'27"



98° 53' 36"
19° 23' 27"



UNIDAD
MORFOLOGICA

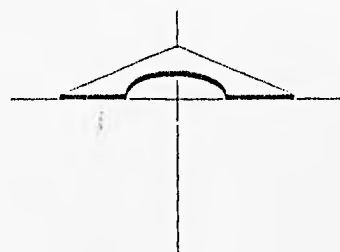
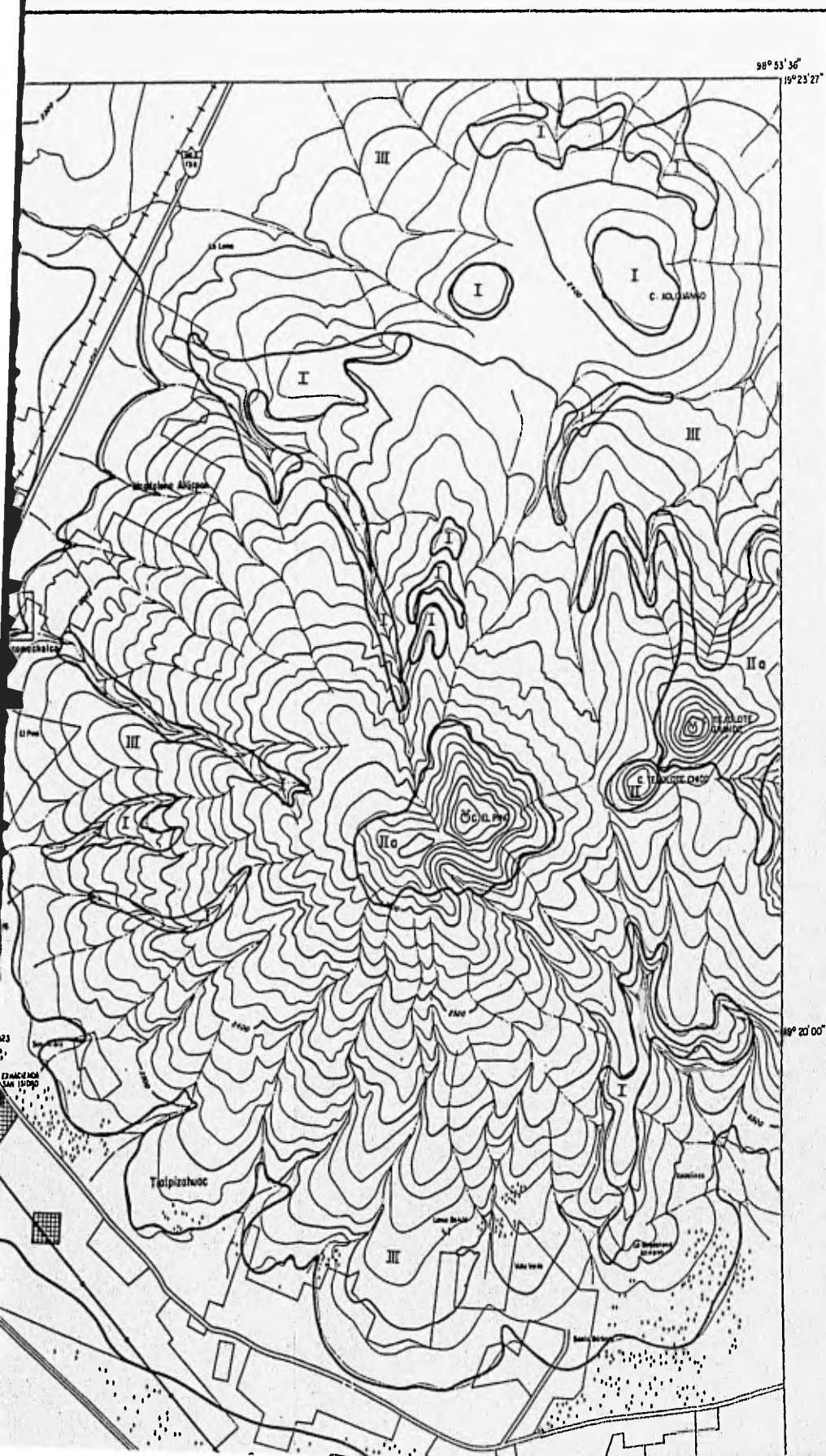
I

II

II a

III

19° 23' 00"

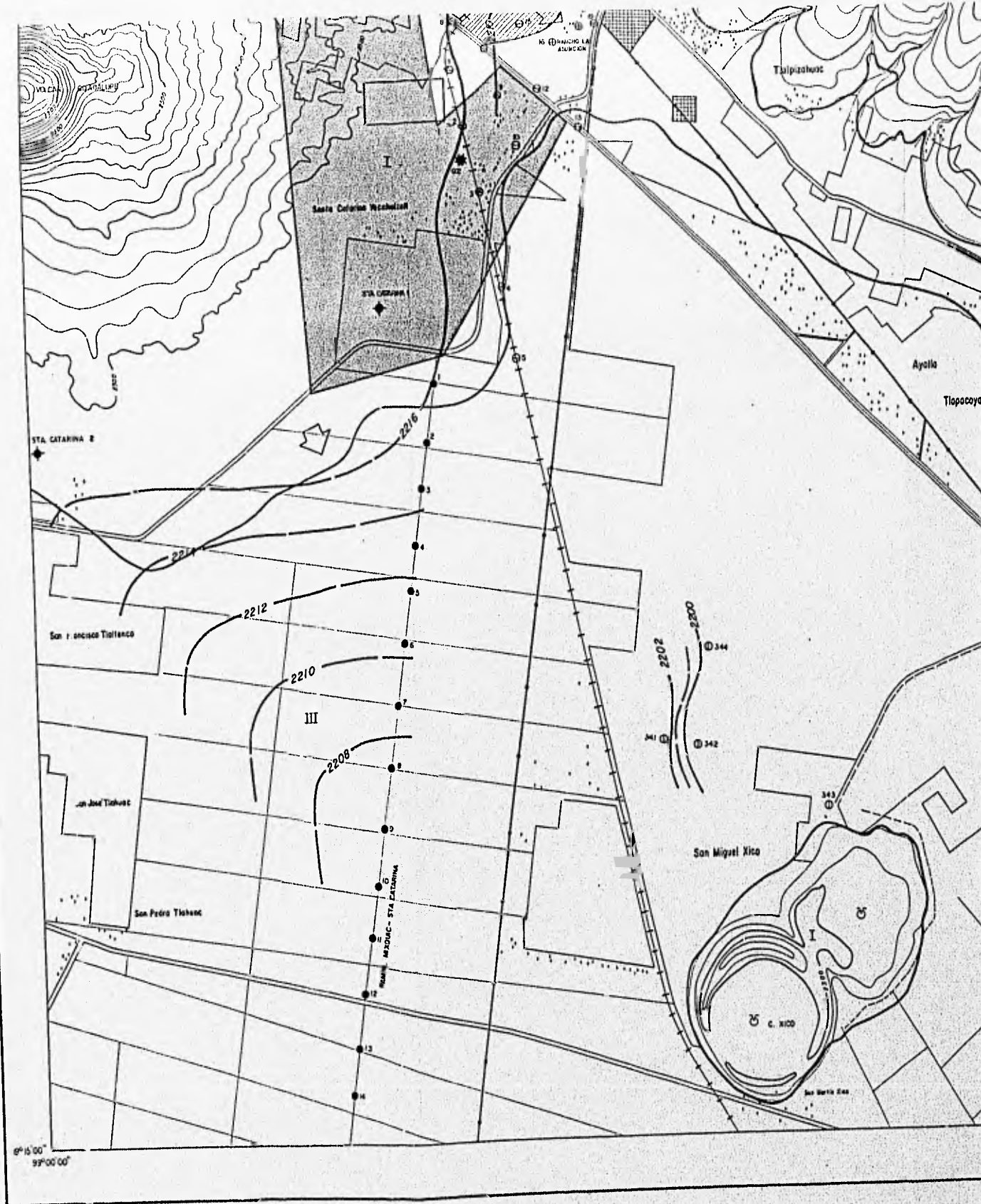


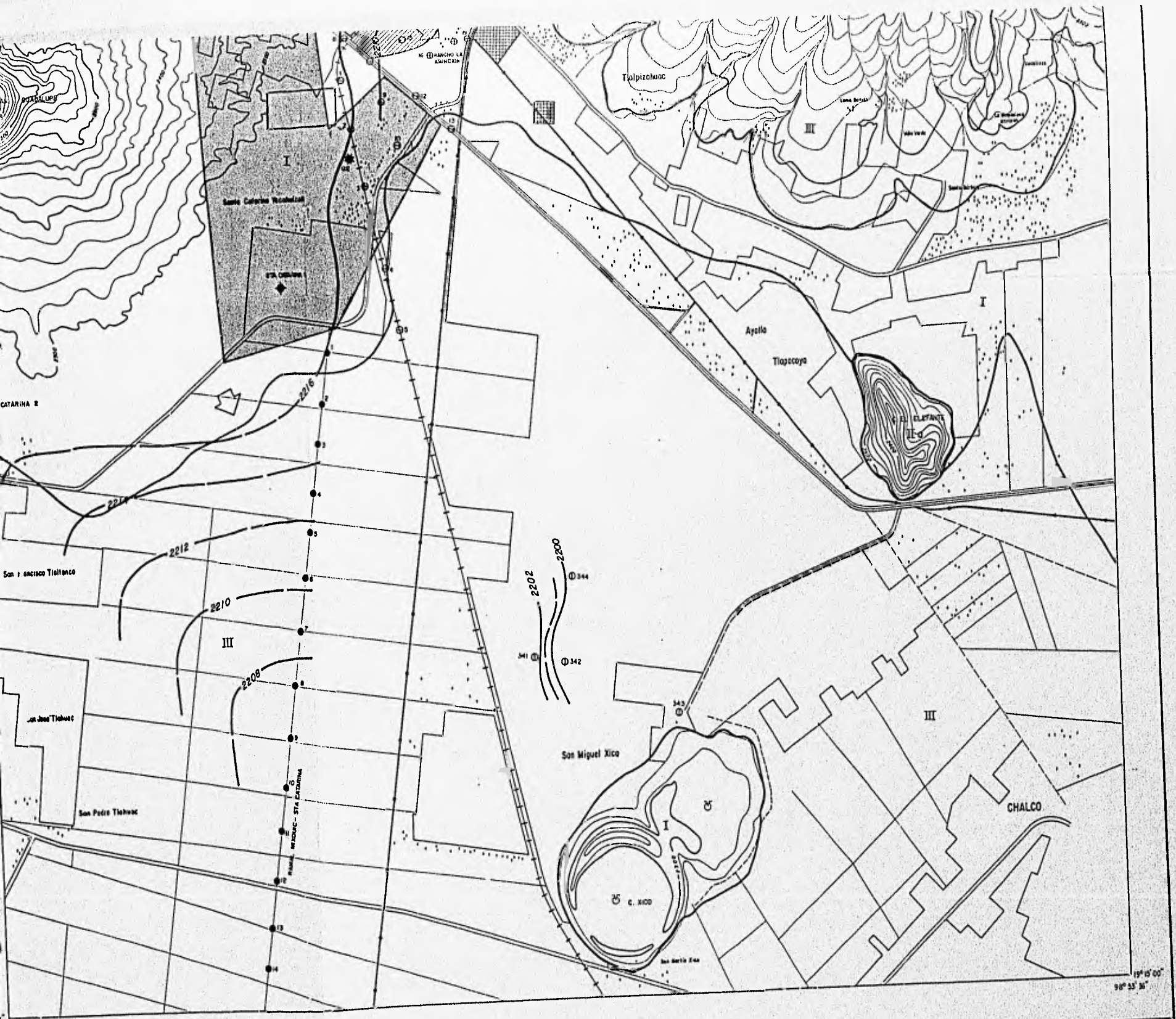
L E Y E N D A

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	DESCRIPCION
I	Incluyen derrames basálticos, brechas volcánicas basálticas en matriz arenosa y conos proclásticos, presentan alta permeabilidad.
II	Rocas con permeabilidad medio de tipo intergranular.
II _a	Rocas con permeabilidad medio producido por fracturamiento.
III	Depósitos lacustres y lodos arcillosos con baja permeabilidad.

SIMBOLOS HIDROGEOLOGICOS

ZONA URBANA SIN DRENAJE	
TRADERO SANTA CATARINA	
ZONA POSIBLEMENTE CONTAMINADA	
DESHECADERO	
ZONA INDUSTRIAL	
LINEAS EQUIPOTENCIALES	
DIRECCION DEL TUAJO DEL AGUA SUBTERRANEA	
MANCIO DE NIVEL USADO PARA BROCALES	
POZOS DEL RAMAL MIDQUE - STA. CATARINA	
POZOS DEL CEAS	
POZOS PARTICULARES	
SEVI	
POZOS PERFORADOS DURANTE EL PROYECTO	
POZOS DE SANTA CATARINA	





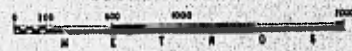


- ZONA INDUSTRIAL
- LINEAS EQUIPOTENCIALES
- DIRECCION DEL FLUJO DEL AGUA SUBTERRANEA
- RANCHO DE NIVEL USADO PARA BOCALES
- POZOS DEL RAMAL MICHUIC-SIA, CAZARIN
- POZOS DEL CEAR
- POZOS MATRICULARES
- SEVI
- POZOS PERFORADOS DURANTE EL PROYECTO
- POZOS DE SANTA CATARINA

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

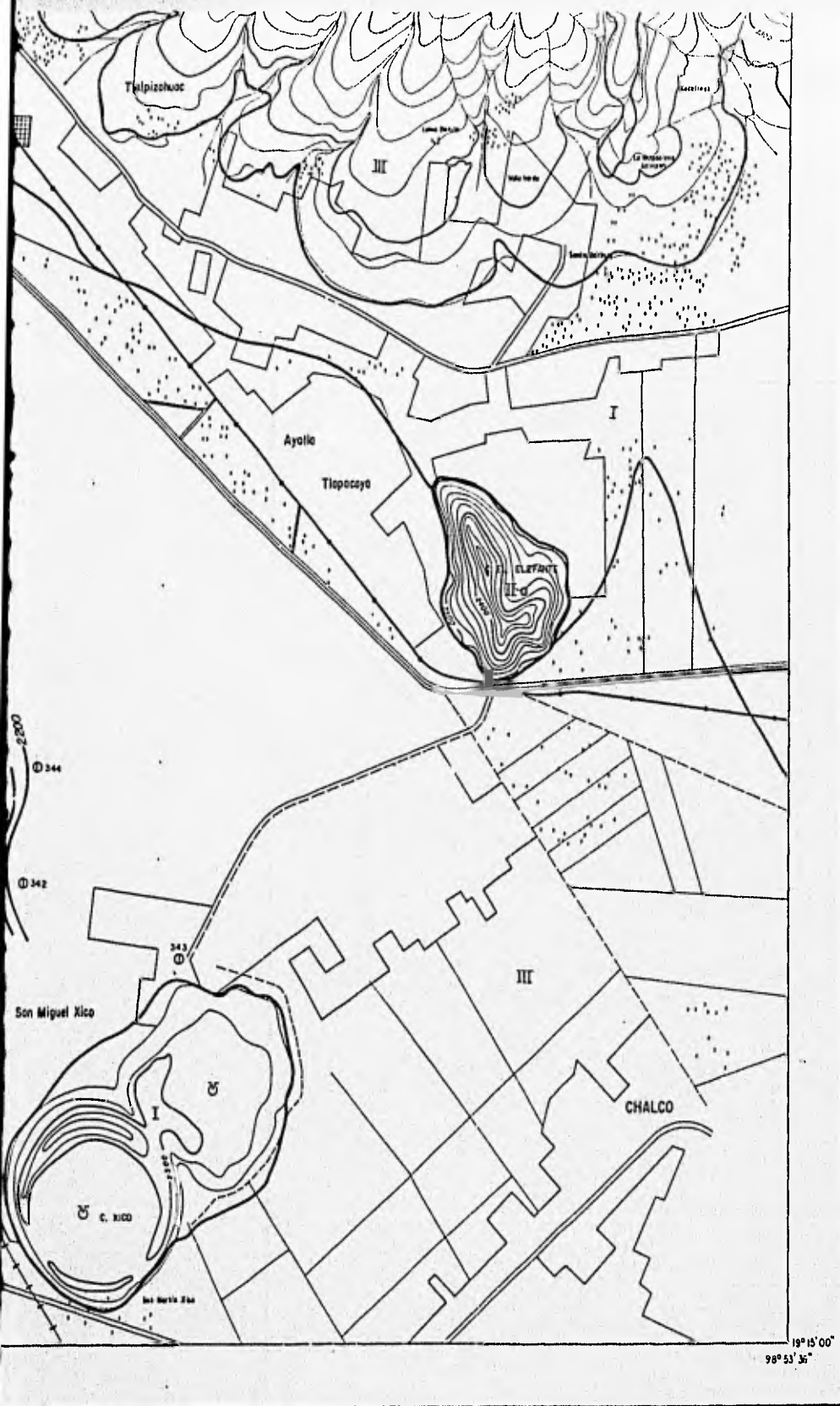
- QUEVEDO O POBLADO PRINCIPAL
- CARRETERA FEDERAL
- CARRETERA DE CUOTA
- CARRETERA PROMOCIONAL
- MECHA
- FERROCARRIL
- CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS
- CARNA DE NIVEL ORDINARIA
- ARROYO INTERMITENTE
- RANCHO DE MATERIAL
- APARATO VELOCIMETRO

ESCALA GRAFICA



1: 20,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
PROYECTO ESTUDIO GEODIAGNOSTICO DEL AREA DE SANTA CATARINA YECALTEPEC		
PLANO PLANO HIDROGEOLOGICO		
NOMBRE R. ALEJANDRO FRISANCHO ORTIZ		
ESCALA INDICADA	FECHA AGOSTO DE 1996	No. DE PLANO

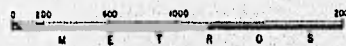


ZONA INDUSTRIAL	
LINIAS EQUIPOTENCIALES	
DIRECCION DEL FLUJO DEL AGUA SUBTERRANEA	
MANCADO MUEL USADO PARA BOCALES	
POZOS DEL RAMAL MIQUIC-STA. CATARINA	
POZOS DEL CEAL	
POZOS PARTICULARES	
SI.V's	
POZOS PERFORMADOS DURANTE EL PROYECTO	
POZOS DE SANTA CATARINA	

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

CIUDAD O POBLADO PRINCIPAL	
CARRETERA FEDERAL	
CARRETERA DE CUOTA	
CARRETERA PAVIMENTADA	
BAJADA	
PEROCARRIL	
CURVA DE NIVEL ACOTADA EN METROS	
CURVA DE NIVEL ORDINARIA	
ARROYO INSALINIENTE	
CANAL	
BANCO DE MATERIAL	
APARATO VOLCANICO	

ESCALA GRAFICA



1: 20,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO
ESTUDIO GEDHICROLOGICO DEL AREA DE SANTA CATARINA YECAHUZOTL

PLANO
PLANO HIDROGEOLOGICO

NOMBRE
R. ALEJANDRO FRISANCHO ORTIZ.

ESCALA INDICADA	FECHA AGOSTO DE 1996	No DE PLANO 2
--------------------	-------------------------	------------------