

15
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



MODELO DEL SISTEMA HIDROGEOLOGICO
DEL VALLE DE AMECAMECA, MEX.

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

MARCOS ADRIAN ORTEGA GUERRERO

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

INDICE DEL CONTENIDO.

CAPITULO.		PAGINA.
1.	INTRODUCCION.	
	1.1 Antecedentes.	1.3
	1.2 Objetivos.	1.4
	1.3 Agradecimientos y Reconocimientos.	1.4.
2.	RESUMEN, CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.	
	2.1 Conclusiones.	2.2
	2.2 Recomendaciones.	2.4
3.	DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.	
	3.1 Localización.	3.1
	3.2 Vías de Comunicación.	3.1
	3.3 Fisiografía.	3.2
	3.4 Clima y Vegetación.	3.3
	3.5 Economía, Población y Cultura.	3.3
4.	METODOLOGIA DE TRABAJO.	
	4.1 Recopilación de Información.	4.1
	4.2 Fotointerpretación.	4.2
	4.3 Reconocimientos de Campo.	4.2
	4.4 Interpretación de los Datos de Campo y Gabinete.	4.3
5.	GEOLOGIA. (Generalidades).	
	5.1 Geología General.	5.1
	5.2 Unidades Litológicas.	5.3
	5.3 Geología Estructural.	5.7
	5.4 Geomorfología.	5.9
	5.5 Geología Histórica.	5.12
6.	GEOQUIMICA (Generalidades).	
	6.1 Evolución Geoquímica.	6.3

7.	GEOFISICA. (Generalidades).	
7.1	Método y Equipo Empleado.	7.1
7.2	Interpretación.	7.2
7.3	Resultados.	7.3
8.	MODELO HIDROGEOLOGICO.	
8.1	Conceptos de Sistema y Modelo.	8.1
8.2	Factores que intervienen en el Sistema Hidrogeológico.	8.4
8.3	Modelo de Funcionamiento Hidrogeológico.	8.8

INDICE DE FIGURAS.

(Se localizan al final de cada capítulo)

CAPITULO.		FIGURA No.
1.	Area de Estudio.	1.1
3.	Localización del Area de Estudio y Vías de Comunicación.	3.1
4.	Actividades de Campo.	4.1
5.	Plano Hidrogeológico.	5.1
6.	Resultados de Análisis FISICO-QUI- MICOS (Tabla).	6.1
	Localización de los sitios de mueg treo.	6.2
	Configuración de Sólidos Totales Disueltos.	6.3
	Configuración de Na ⁺ , Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺	6.4
7.	Arreglo Tetrapolar Tipo Schlumberger.	7.1
	Localización de Sondeos y Secciones Geofísicas.	7.2
	Resumen de Resultados de los SEV (Tabla).	7.3
	Secciones Geofísicas.	7.4
		7.8
8.	Sistema Hidrológico.	8.2
	Abstracción del Ciclo Hidrológico.	8.3
	Subsistemas Hidrogeológicos.	8.4
	Croquis de Funcionamiento.	8.5

1.- INTRODUCCION

La permanente demanda de agua para los diferentes usos de la población, con fines de abastecimiento presente y futuro, ha dado lugar a una continua investigación acerca del comportamiento en la Naturaleza de este valioso Recurso Natural; las investigaciones se enfocan hacia la localización, evaluación, explotación y predicción del comportamiento de los Recursos Hidrológicos superficiales y subterráneos a partir de un Estudio Geohidrológico. Un estudio geohidrológico considera tres Etapas de Investigación fundamentales correspondientes a Explotación, Cuantificación y Predicción del comportamiento de los Recursos Hidrológicos aprovechables.

En la etapa de Exploración se llevan a cabo reconocimientos hidrogeológicos, encaminados a definir el marco geológico superficial en función de las diferentes unidades litológicas existentes y de las características cualitativas que como acuíferos pueden adquirir, además se define la presencia de las zonas hidrológicas de recarga y descarga que afectan al sistema en estudio. La geometría en el subsuelo de las unidades acuíferas puede determinarse con métodos indirectos de Geofísica Eléctrica de Resistividad. A partir del conocimiento de la geometría superficial y subterránea de las diferentes unidades litológicas, de sus propiedades físicas cualitativas de porosidad y permeabilidad y de las zonas de recarga y descarga, se establece un modelo del funcionamiento de los acuíferos dentro del marco geológico existente; este modelo hidrogeológico -- --

gico es de suma utilidad en las futuras etapas del estudio geohidrológico, pues al realizar la cuantificación y predicción de los recursos hidrológicos presentes existe ya un modelo que permite comprender el sistema que se cuantifica, los efectos que este puede tener en cuanto se explote o se encuentre en altos niveles de explotación e inclusive complementarlo con la información físico-química de los acuíferos obtenida en el transcurso del estudio. Todo ello para el conocimiento y explotación más adecuada del recurso agua en la Naturaleza.

Actualmente estos estudios se llevan a cabo utilizando los conceptos de Modelaje en Sistemas, con el fin de obtener resultados que permitan conocer, evaluar y predecir las características y condiciones de comportamiento de los fenómenos hidrológicos, los cuales generalmente se presentan bajo circunstancias complejas. En el desarrollo de esta Tesis se hace uso de estos conceptos desde el punto de vista cualitativo por la importancia que representan para el logro de los objetivos señalados.

La presente Tesis Profesional tiene como finalidad presentar un Modelo de Funcionamiento del Sistema Hidrogeológico de los alrededores de Amecameca de Juárez, Méx., principalmente en la zona correspondiente al Valle y a las faldas de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, como contribución al conocimiento del comportamiento del agua subterránea y superficial dentro del marco geológico actual, cuya área de estudio se presenta en la figura No. 1.1.

1.1.- Antecedentes

En octubre de 1979 la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas contrató los servicios de la Compañía Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., para realizar un Estudio Geohidrológico de la Región de Amecameca, Méx.; ante la creciente demanda de agua potable de esta población para satisfacer una necesidad futura que se estima en 200 lps.

En este Estudio se realizaron investigaciones de campo hidrogeológicas, geofísicas, de hidrología subterránea y superficial; cuantificación de recursos hidráulicos, interpretación de los resultados y finalmente la elaboración de un informe con el contenido y conclusiones del estudio, así como las recomendaciones necesarias. En el desarrollo del estudio geohidrológico, el autor de la presente tesis participó principalmente en las investigaciones geológicas e interpretación geofísica, por lo cual en vista del interés del problema hidrogeológico, de la importancia de los Modelos Hidrogeológicos en los estudios de Geohidrología y de una necesidad académica presento bajo tema de tesis un Estudio Hidrogeológico de esta Región, que es complemento del realizado en el Estudio Geohidrológico mencionado y enfocado a la actual Investigación Hidrogeológica a través de los conceptos de Modelo y Sistema.

Para realizarla se solicitó la autorización de la Dirección General de Construcción de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado, Subdirección de Construcción a través del Ing. Amado Sánchez

Mendoza Jefe del Departamento de Fuentes de Abastecimiento y del Jefe de la Oficina de Geohidrología Ing. Santiago Pinzón Lizárraga; los cuales permitieron utilizar la información contenida en el Estudio de Fuentes de Abastecimiento para Amecameca, Méx. Posteriormente se llevaron a cabo recorridos más detallados del tipo geológico e interpretación de sondeos eléctricos verticales enfocados al aspecto puramente hidrogeológico, así como recopilación de información bibliográfica de la región y la referente a modelaje de sistemas en hidrología de aguas subterráneas.

1.2.- Objetivos

El presente estudio pretende alcanzar tres objetivos fundamentales que son:

1.- El determinar el marco geométrico superficial y subterráneo de las diferentes unidades hidrogeológicas observadas en el área de estudio.

2.- Definir las características hidrogeológicas del sistema actual.

3.- En base a los objetivos anteriores, proponer un Modelo Cualitativo del Comportamiento del Sistema Hidrogeológico de los alrededores del Valle de Amecameca dentro del área que se muestra en la figura No. 1.1, al final de este capítulo.

1.3.- Agradecimientos y Reconocimientos

A través de estas líneas quiero agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron de una manera directa o indirecta, en

la elaboración de la presente Tesis y en forma especial al Ing. Rubén Martínez Guerra por sus valiosos consejos y comentarios; al Ing. Mariano Ruiz Vázquez por la revisión que hizo de la misma, por sus valiosas aportaciones y como Director de Tesis. Igualmente al Ing. Ulrich Hungeberg por sus comentarios acerca de la importancia de los Modelos Geológicos como etapa previa a cualquier tipo de Estudio relacionado con la Corteza Terrestre.

También agradezco de una manera muy especial la ayuda de mi hermano Roberto Ortega Guerrero, que colaboró en la interpretación de los sondeos eléctricos verticales y secciones geofísicas.

A los Ingenieros Amado Sánchez M. y Santiago Pinzón L. por haber autorizado el uso de la información del Estudio de Fuentes de Abastecimiento para Amecameca, Méx.

Al Sr. Marco A. Gómez y a la Srita. Rosa E. Mejía F. por su participación en los planos e ilustraciones; así como a la Sra. Teresa Cruz M. que mecanografió los borradores.

FIGURAS

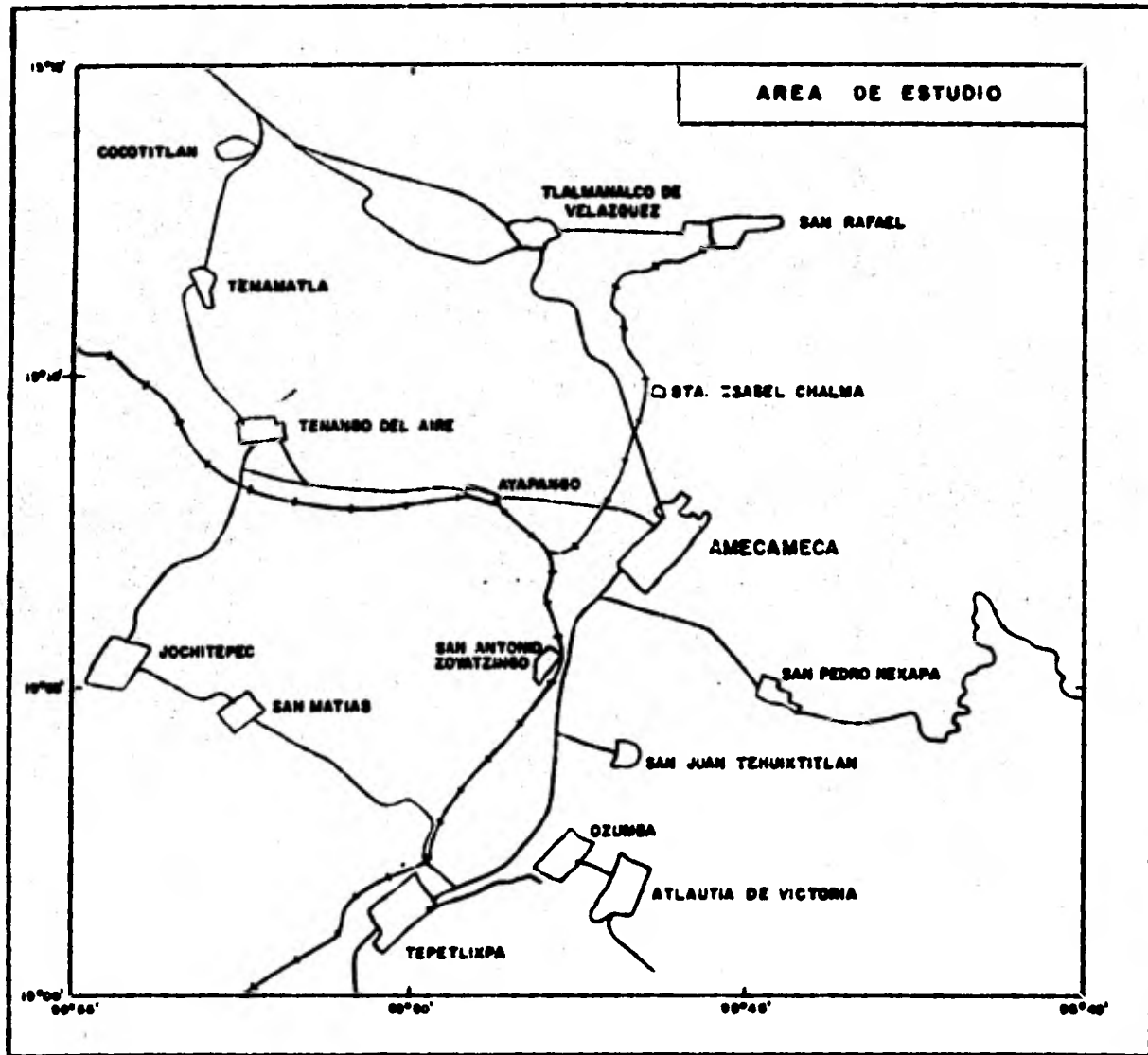


Fig.- 1.1 PLANO GENERAL DE LOCALIZACION

2.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la actualidad es de importancia fundamental la explotación adecuada de los Recursos Naturales, los que en su mayor parte se deben a una Evolución Geológica Regional.

En el caso de esta tesis se realiza un Modelo del Funcionamiento Hidrogeológico del Valle de Amecameca, para contribuir al conocimiento de este Sistema y hacer notar la importancia de los Modelos Geológicos en Estudios de Explotación ó Aprovechamiento de los Recursos Naturales.

El Modelo Hidrogeológico del Valle de Amecameca se hace a través de la geometría tanto superficial como subterránea del sistema y de sus características hidrogeológicas. Para ello fue necesario definir el alcance del estudio con los conceptos de Sistema y Modelo (mismos que se describen en el capítulo 8 de este informe), para posteriormente identificar los factores que intervienen en el sistema de estudio; estos factores se definieron a partir de la Geología superficial de la zona (ver capítulo 5 y plano hidrogeológico de la figura No. 5.1). La continuidad y geometría de estos factores se obtuvieron con la interpretación de cinco secciones geofísicas distribuidas estratégicamente en el Valle (ver figura de localización de sondeos y secciones No. 7.3, y las secciones de las figuras Nos. 7.4 a 7.8); estas secciones se construyeron con la interpretación de 32 sondeos eléctricos verticales de resistividad.

Los factores del sistema hidrogeológico, aparte de -

controlar el comportamiento físico del agua controlan también el aspecto químico; por lo cual el análisis geoquímico de 13 muestras de agua superficial y subterránea ayudaron a comprender dicho comportamiento.

Una vez identificados los factores que intervienen en el sistema, su geometría y sus propiedades hidrogeológicas se elaboró el Modelo de Funcionamiento que se describe en el capítulo 8 de este informe. El Modelo debe tener errores, pero es un Modelo flexible a mejorar con la adición de otro tipo de información que no se pudo manejar ó no se manejó con la profundidad necesaria.

2.1 Conclusiones

Las conclusiones a las que se llegó en la elaboración de la presente Tesis fueron:

la.- Se alcanzaron los objetivos previstos, por medio de la Geología Superficial, Geofísica Eléctrica de Resistividad y Geoquímica se determinó el marco geométrico superficial y subterráneo del sistema, así como los factores y características hidrogeológicas cualitativas que lo constituyen. Y de esta manera elaborar un Modelo del comportamiento de dicho sistema, el cual se inicia con la precipitación de agua en las partes altas de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl, escurriendo subterránea ó superficialmente de acuerdo a la presencia de materiales piroclásticos ó roca andesítica, respectivamente. El agua viaja de esta manera siguiendo el gradiente natural del terreno hasta llegar al Valle de Amecameca, donde se infiltra

inmediatamente en los materiales piroclásticos que constituyen al Valle mencionado en su superficie.

La geometría de las diferentes unidades hidrogeológicas en el subsuelo, serán las que controlen ahora el comportamiento del agua subterránea. De acuerdo con la interpretación de las cinco secciones geofísicas se logró modelar este comportamiento, identificándose que las rocas dacíticas constituyen la base del resto de las unidades acuíferas; las tobas de composición intermedia (Mtbi) dan lugar a una topografía abrupta en el subsuelo, formando un recipiente de base irregular con una salida principal en la parte occidental del Valle. Las tobas se encuentran cubiertas por materiales piroclásticos y derrames de basalto del Grupo Chichinautzin que en su mayor parte constituyen el acuífero regional.

Esta distribución de unidades da lugar a que exista un movimiento de las aguas subterráneas hacia el Poniente principalmente y hacia el Sur en menor proporción, ambas a través de materiales piroclásticos (como también se identificó en la Evolución Geoquímica). Pudiendo presentarse también un movimiento del agua subterránea hacia el Norte y Sur, a través de las tobas que forman el acuífero regional y alimentar los Valles de México ó Cuautla.

2a.- El manejo del concepto de Modelo en Geología, es de gran importancia en su aplicación práctica, pues es posible simplificar el comportamiento de sistemas complejos como es el caso del Sistema Hidrogeológico Volcánico de Amecameca. El comportamiento se

simplificó a partir de los conceptos de Modelo y Sistema, además de la identificación de los factores que intervienen en ellos; hecho - esto se consideraron como datos conocidos el Estímulo o Entrada del Sistema y los Factores que lo constituyen, desconociendo únicamente su Efecto ó Respuesta. El efecto pudo modelarse entonces y permitió elaborar un croquis de funcionamiento que se muestra en la figura No. 8.5.

2.2.- Recomendaciones

1a. El modelo elaborado aun no se considera completo, porque los resultados están sujetos a comprobación cuantitativa. Se recomienda complementarlo y retroalimentarlo con todo tipo de información relacionada.

2a. El presente estudio fue enfocado al comportamiento del Sistema Hidrogeológico que forma parte de las investigaciones geohidrológicas, por lo que se recomienda su uso en las etapas de Cuantificación y Predicción de los acuíferos del Valle.

3a. Debido a la extensión del sistema volcánico regional y del conocimiento de su complejidad, se recomienda utilizar este modelo como un conocimiento preliminar del sistema que se estudia.

3.- DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

Las características generales del área de estudio se hacen a partir de su localización geográfica, vías de acceso, fisiografía, clima y vegetación, así como las características socio-económicas y culturales de la población; características que se describen bajo subtítulos correspondientes.

3.1.- Localización

La zona de estudio se localiza dentro del Estado de México cerca de los límites estatales con Puebla y Morelos, al occidente de las faldas de los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl. -- Geográficamente se encuentra limitada por los paralelos 19°00'00" y 19°15'00" de latitud norte y los meridianos 98°40'00" y 98°54'20" de longitud oeste; dicha área corresponde aproximadamente al 90% de la que cubre la carta topográfica Amecameca No. E-14-B41, editada por la DETENAL. En la figura No. 3.1 se puede observar la localización del área de estudio.

3.2.- Vías de Comunicación

El área de estudio cuenta con vías de comunicación terrestre como carreteras y vías de ferrocarril. El acceso es a través de la Carretera Federal No. 115 México-Chalco-Cuautla, la cual cruza aproximadamente de norte a sur el área de estudio y comunica poblaciones como Cocotitlán, Tlalmanalco de Veñízquez, Amecameca, -- Ozumba de Alzate y Tepetlixpa, entre las principales. A partir de esta carretera se derivan caminos pavimentados secundarios como los que comunican Cocotitlán con Temamatla, Tenango del Aire, Juchitepec de Mariano Riva Palacio y Tepetlixpa, rodeando los volcanes Chincon-

quiac y Xoyacán.

A la altura de Cocolotitlán sobre la Carretera Federal entronca un camino pavimentado que comunica las poblaciones de San Mateo, Tlalmanalco de Velázquez y San Rafael, mientras que al Sur de Amecameca entronca la Carretera Federal No. 451 que comunica hacia el oriente a San Pedro Nexapa, el Paso de Cortés y Tlamacas. También existen caminos recubiertos de terracería y brecha que comunican poblados y rancherías.

Se cuenta además con vías de ferrocarril como la vía México-Cuautla, que cruza la zona con ligera dirección NW-SE y una vía de derivación a la altura de Amecameca hacia San Rafael. No se cuenta con comunicación aérea debido a lo abrupto del relieve, pero se tiene servicio de teléfono y telégrafo.

3.3.- Fisiografía

El área de estudio se encuentra localizada dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico (López Ramos, 1979) en su parte Centro-Oriental. El Eje Neovolcánico se caracteriza por estructuras volcánicas de diferentes dimensiones y zonas de influencia, cuya actividad se desarrolla principalmente durante el Terciario y Reciente.

Dentro del área pueden observarse diferentes rasgos topográficos, directamente relacionados con la actividad volcánica a que ha estado sujeta la región, distinguiéndose dos tipos principales: uno debido a los volcanes Ixtaccihualt y Popocatépetl y el otro al Grupo Chichinautzin. Situándose dentro del ciclo Geomorfológico en su etapa de juventud.

En el capítulo de Geología se describe con mayor -
detalle la morfología de la zona.

3.4.- Clima y Vegetación

El clima que predomina en la región es del tipo C -
(W₂) (w) (b') ig (según clasificación de Koeppen), correspondiente a
" un clima templado subhúmedo, con régimen de lluvias periódicas y -
el invierno seco. Durante el mes más lluvioso de verano las lluvias
son 10 veces, o más de mayor altura que en el mes más seco, la temp_a
ratura del mes más cálido es inferior a 22°C; la diferencia entre -
las temperaturas medias mensuales extremas es inferior a 5°C" (1).

En el Valle de Amecameca se tienen temperaturas extre
mas máximas de 32°C y mínimas de -8°C, con un promedio anual de 14°C.
La precipitación media anual es de 1000 mm, iniciándose el período de
lluvias en abril y terminando en octubre. La evaporación potencial -
media anual es de 1400 mm. Las características climatológicas anterio
res dan lugar a diferentes tipos de vegetación como: coníferas, "enci
nos y robles, asociados a helechos; en los terrenos planos se encuen--
tran algunas estepas con pastos y plantas herbáceas, arbustos, árboles
pequeños, yucas, agaves y cactus". (2).

3.5.- Economía, Población y Cultura

La economía de la zona se basa principalmente en la -

(1) Climatología de México. Dr. Jorge A. Vivó, Ing. José C. Gómez, in
Atlas Geográfico General de México. Jorge A. Tamayo.

(2) Geografía General de México. Jorge A. Tamayo. p. 151.

agricultura de temporal: maíz, frijol y trigo principalmente, en la ganadería enfocada a derivados lácteos como queso, crema y mantequilla; la industria principal es la papelera en la zona de San Rafael. El desarrollo de asentamientos humanos tales como fraccionamientos y turismo, dada la belleza natural que representan los parques nacionales Izta-Popo. Se estima una población de 60 000 habitantes para la zona de Amecameca (1979) y aproximadamente 130 000 habitantes para el resto de poblaciones y rancherías del área.

En estas localidades se cuenta con educación básica hasta 6° año, además de preparación secundaria y técnica en las principales poblaciones. Se cuenta también con servicios médicos particulares y públicos en Amecameca, San Rafael y Juchitepec.

FIGURAS

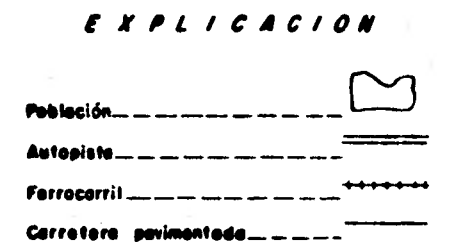
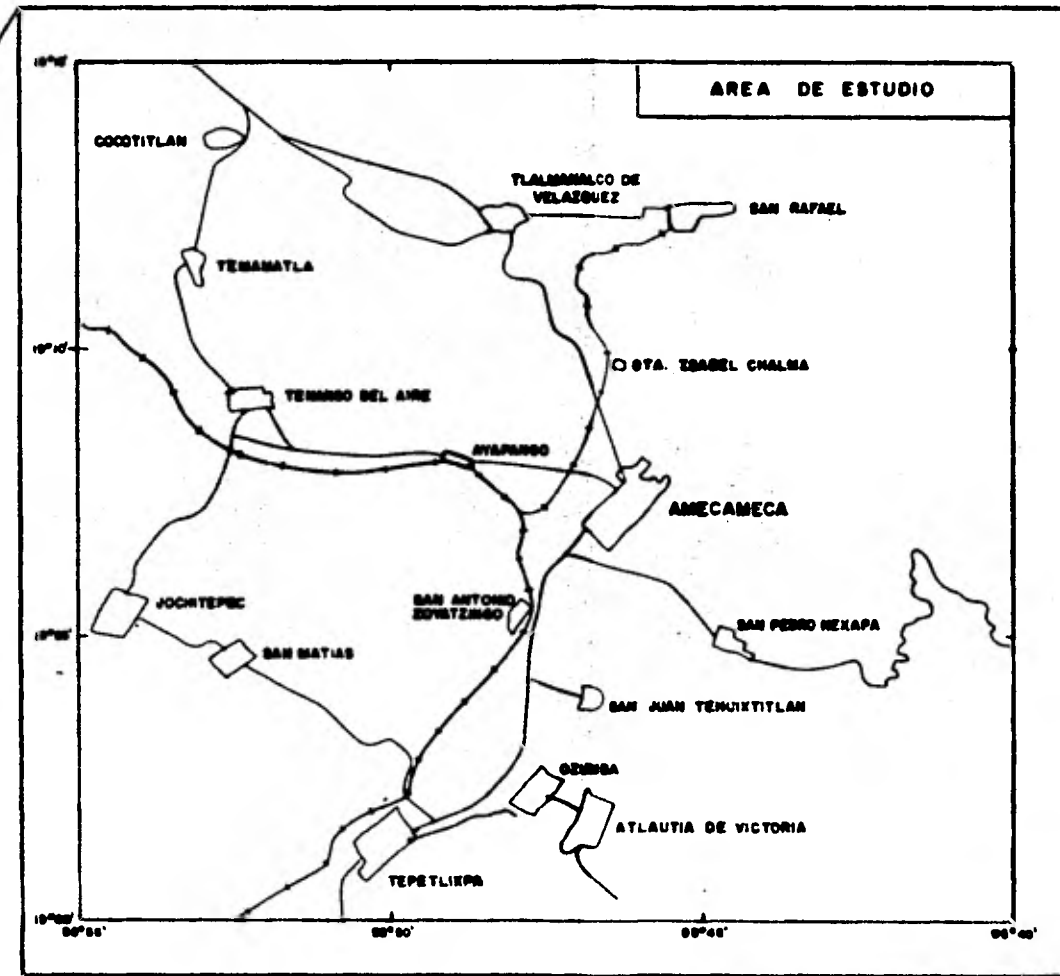
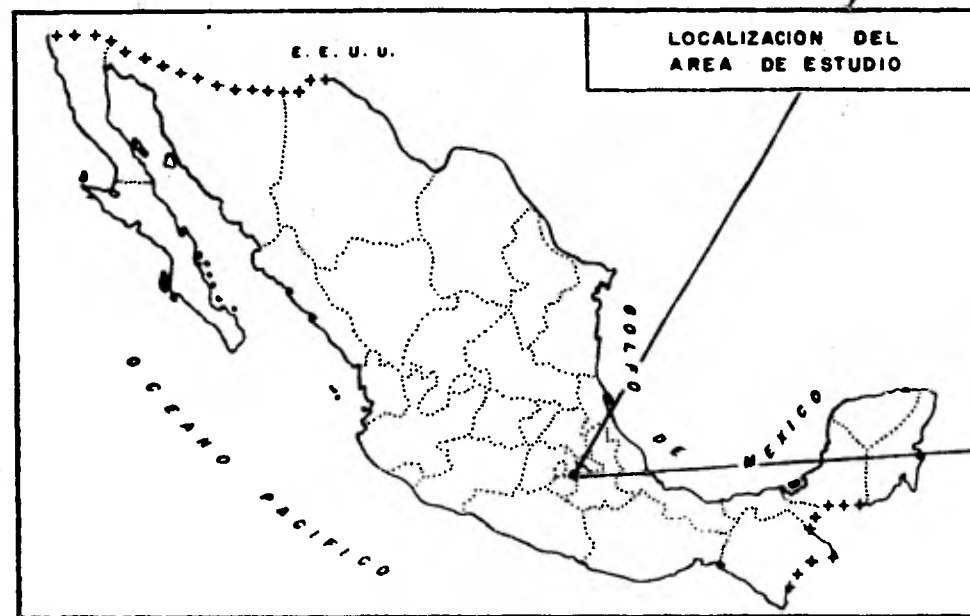


Fig-3.1

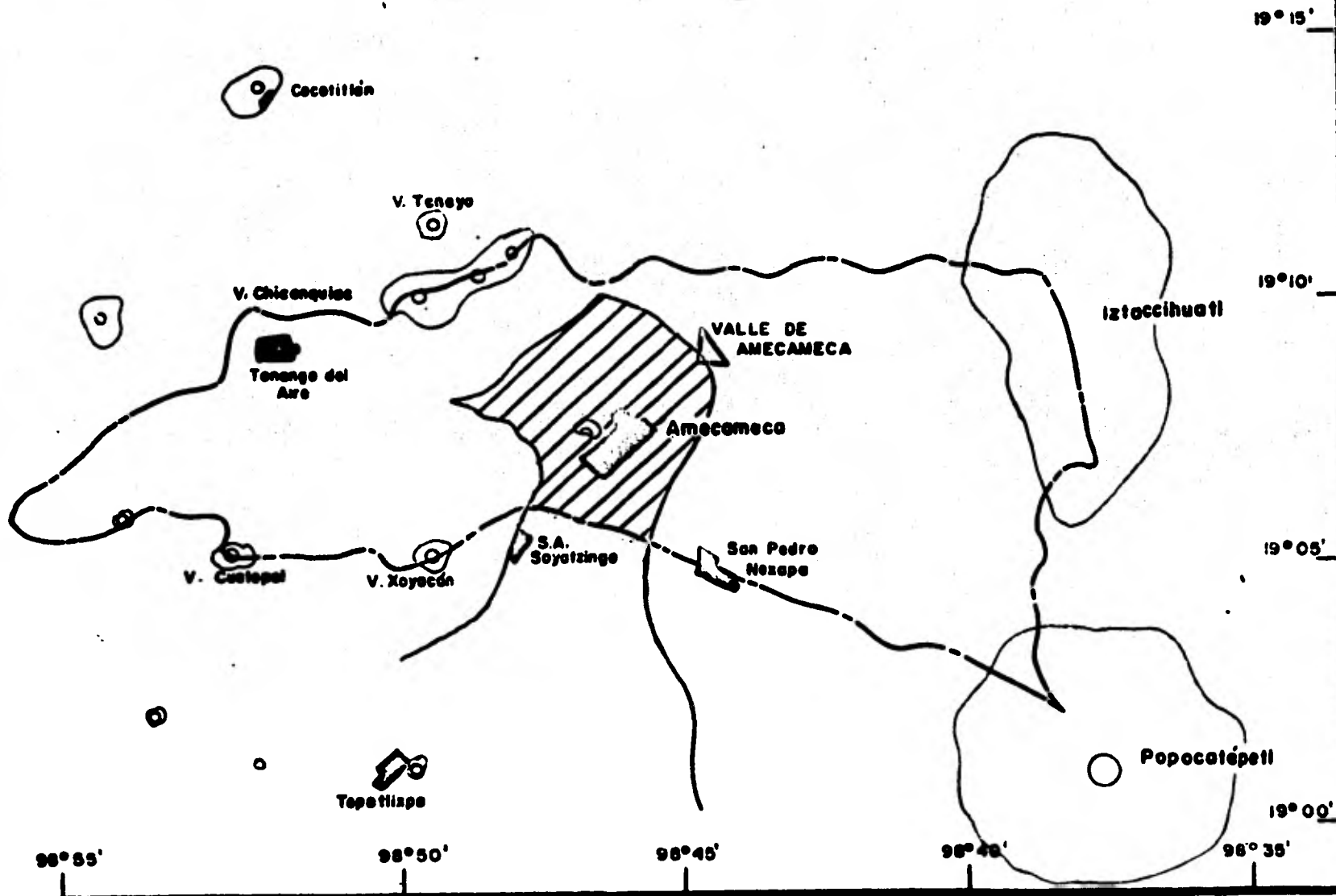


FIG. 3.2

4.- METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología seguida para elaborar la presente tesis, fué como se describe a continuación.

4.1.- Recopilación de Información

Esta actividad tuvo como fin recopilar la información disponible, consistente en cartas topográficas de la DETENAL, escala 1:50,000, planos geológicos, fotografías aéreas verticales y estudios del tipo geológico y geohidrológico realizados en la zona y sus alrededores. Las características y uso de esta información se muestra a continuación.

Se obtuvo información de dos cartas topográficas escala 1:50,000, editadas por la DETENAL, números E13-B-41 y 42; un plano geológico del Valle de México, publicado por el Instituto de Geología de la UNAM, escala 1:100,000. Así mismo se utilizaron fotografías aéreas verticales, en blanco y negro, escala 1:30,000 de Aerofoto, S. A.

La información recopilada, consistente en publicaciones y estudios realizados en el área y zonas aledañas se indica en el capítulo de bibliografía, al final de este estudio.

También se obtuvieron dos tesis profesionales de estudios hidrogeológicos, uno de la cuenca de San Rafael a partir de un trabajo realizado para la Cía Papelera del mismo nombre en el año de 1970, realizada por Servicios Geológicos, S.A y otra realizada en el año de 1969 referente a una evaluación de los recursos acuíferos en el Valle de Amecameca.

Del estudio de Fuentes de Abastecimiento para Amecame

ca realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., se utilizó la información de resultados de los análisis fisicoquímicos de 22 muestras de agua, los datos de campo de 45 sondeos eléctricos verticales de resistividad y el plano topográfico base del área de estudio.

4.2.- Fotointerpretación

Con las fotografías aéreas verticales, escala 1:30,000 se realizó una fotointerpretación a partir de los pares estereoscópicos, auxiliándose de un estereoscopio de espejos y uno de bolsillo. La fotointerpretación consistió en determinar el tipo de litología existente en la zona a partir de los contrastes entre las tonalidades de blanco y negro, de las características del drenaje y de los rasgos morfológicos y estructurales visibles. Todas estas características se marcaron en las fotografías para la construcción de un plano fotogeológico preliminar.

4.3.- Reconocimientos de Campo

Con base en el plano fotogeológico preliminar se llevó a cabo una serie de visitas de campo, con el fin de verificar y corregir las unidades litológicas identificadas y sus contactos; así como determinar otros rasgos morfológicos y estructurales, que junto con datos obtenidos de las propiedades físicas cualitativas de porosidad y permeabilidad permitieron enriquecer la información preliminar, la cual ayudó finalmente a elaborar el plano hidrogeológico que se muestra en el plano de la figura No. 5.1 y además comprender la evolución geológica que sufrió la zona.

Sobre las muestras de agua y la realización de los sondeos eléctricos verticales, que son actividades de campo, se uti-

lizó la información de los realizados en el estudio de I.C.G., S. A. para SAHOP, pero se describen sus características a continuación.

Las muestras de agua se toman de pozos, norias y fuentes superficiales como escurrimientos, tomándose la temperatura de la muestra, la del ambiente, el pH y su resistividad. Las muestras se envasan en recipientes de plástico y son enviadas al laboratorio para su análisis físico-químico; el cual sirve en este caso para hacer una interpretación de la evolución geoquímica del agua desde su infiltración en las zonas de recarga, su circulación por las diferentes unidades geológicas hasta los sitios de muestreo.

Las exploraciones geofísicas de resistividad se realizan para determinar la presencia de los diferentes materiales a subsuelo, que tienen un comportamiento eléctrico que difiere en función de su compacidad, grado de fracturamiento y porcentaje de saturación de agua; lo que da lugar a un contraste que sirve para su identificación. Los datos que se obtienen en el campo son corregidos e interpretados posteriormente en función de la información geológica superficial, piezométrica, de registros eléctricos y cortes de pozos.

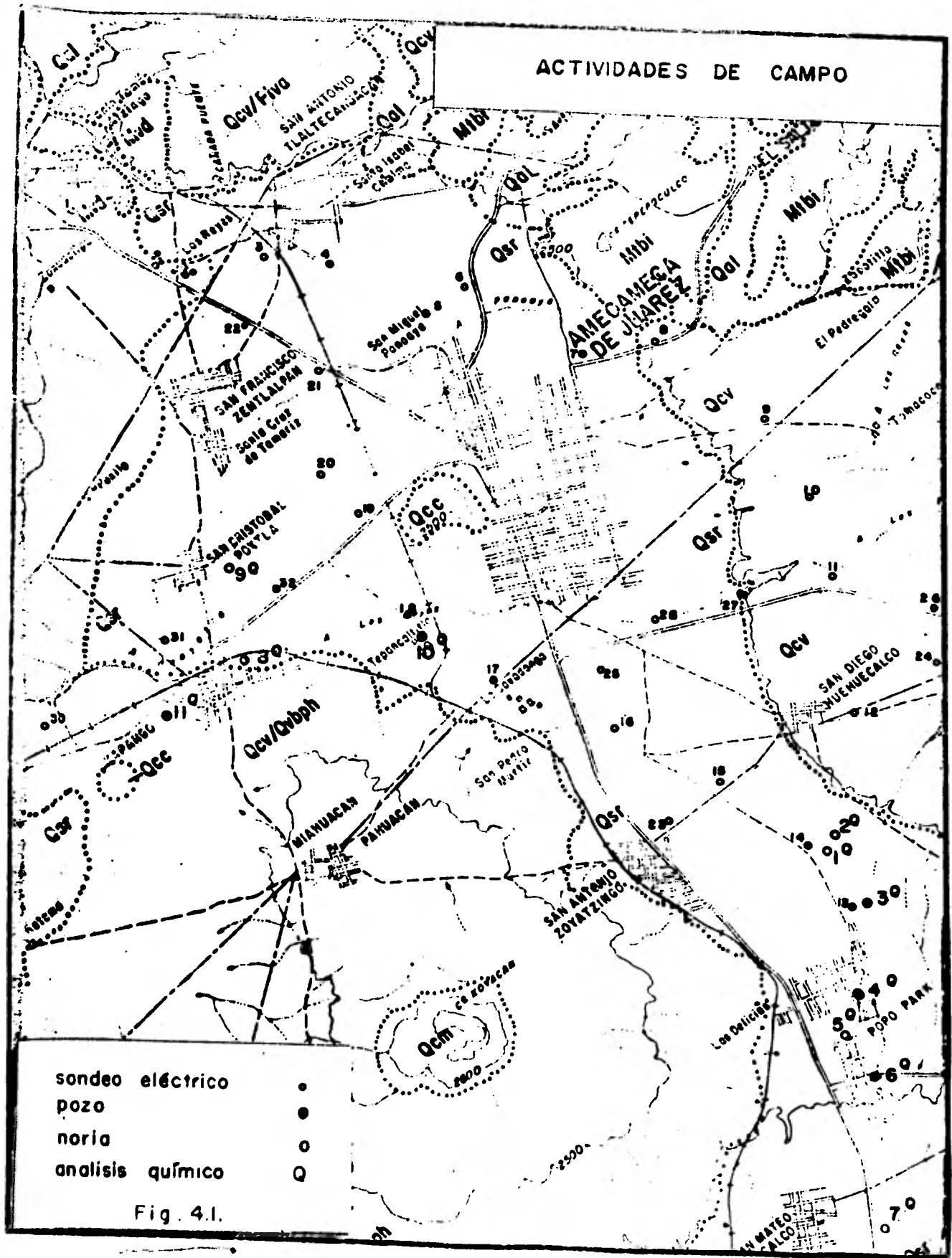
4.4.- Interpretación de los Datos de Campo y Gabinete

Para ello primero se integró y analizó la información obtenida, en todas las actividades desarrolladas anteriormente, para interpretarlas de acuerdo a los objetivos definidos con anterioridad.

La información de Geología, Geoquímica y Geofísica se combinó e interpretó enfocada al aspecto hidrogeológico, de tal manera que permitiera realizar una serie de conclusiones que apoyaran la elaboración del modelo de comportamiento hidrogeológico. En el plano de la fig. 4.1 se ilustran las actividades de campo que se realizaron en la zona de estudio.

FIGURAS

ACTIVIDADES DE CAMPO



- sondeo eléctrico ●
- pozo ●
- noria ○
- análisis químico ◻

Fig. 4.1.

5.- GEOLOGIA

El comportamiento del agua subterránea y superficial es controlado por la evolución geológica que ha afectado la región, y en forma particular el área de estudio; a través de sus diferentes procesos exógenos y endógenos. Esta evolución ha dado lugar a que el control se manifieste desde el punto de vista litológico y estructural principalmente, afectando las propiedades físicas de porosidad y permeabilidad que adquieren los diferentes materiales del área de estudio.

Para conocer las características geológicas que se presentan en esta área, se hace una descripción de los diferentes procesos geológicos que la afectaron, bajo el nombre de Geología General, Unidades Litológicas, Geología Estructural, Geomorfología y finalmente la evolución de todos estos procesos, bajo subtítulo de Geología - Histórica.

En el capítulo 8 de esta tesis se utiliza la información del capítulo de geología, para determinar los factores que intervienen en el sistema hidrogeológico.

5.2.- Geología General

El valle de Amecameca se encuentra situado dentro de un complejo sistema ígneo extrusivo, en el que se observan estructuras volcánicas con diferentes características morfológicas, directamente relacionadas con el tipo de rocas que los forman, y estas a su vez debidas a diferentes períodos de emplazamiento. Las estructuras volcánicas principales observadas son de dos tipos diferentes: Las estructuras desarrolladas durante el Terciario (Mioceno-Plioceno) y

las del Pleistoceno-Reciente. Las primeras se caracterizan por estructuras irregulares con tendencia cónica, que se elevan bruscamente de la superficie normal del terreno por encima de los 5 000 m.s.n.m.; en los cuales sus emisiones de lava se presentan actualmente como frentes masivos, además de afloramientos irregulares y erosionados de tobas. Tal es el caso de las estructuras volcánicas Ixtaccihuatl y Popocatepetl.

Las estructuras Pleistoceno-Recientes las conforman un numeroso conjunto de aparatos volcánicos de forma cónica debida a la tendencia radial de las coladas, materiales piroclásticos, y al cono cinerítico ó mixto que las corona. Todas ellas forman parte del denominado Grupo Chichinautzín.

Pueden observarse rocas volcánicas de diferente composición mineralógica, que corresponden a diferentes periodos de actividad de los volcánes Ixtaccihuatl, Popocatepetl y al Grupo Chichinautzín. La actividad de los primeros se desarrolló principalmente durante el Mioceno-Plioceno, con la emisión de lavas y productos piroclásticos de composición intermedia, los cuales forman actualmente tobas; mientras que durante el Pleistoceno y Reciente, el Grupo Chichinautzín es el que se manifiesta activo (junto con el Popocatepetl e Ixtaccihuatl), con la emisión de lavas y productos piroclásticos de composición básica. Estos últimos depósitos se distribuyen ampliamente en la región y constituyen las unidades litológicas principales del área de estudio.

A partir de una visión del conjunto, puede observarse que las estructuras desarrolladas, tanto Terciarias como Pleistoceno Recientes, se presentan alineados dentro de un patrón tectónico re-

gional: con una tendencia marcada norte-sur y este-oeste perpendiculares entre sí, con patrones secundarios a 30° y 60°.

Existe fuerte contraste en la morfología desarrollada en el área de estudio, pudiendo distinguirse tres tipos diferentes: uno debido al Valle de Amecameca (orientación norte-sur); el segundo desarrollado al oriente de Amecameca de topografía brusca e irregular; y por último la localizada al occidente de Amecameca, de topografía suave y homogénea en sus tendencias geométricas.

Los procesos anteriores se describen con mayor detalle en los siguientes subcapítulos.

5.2.- Unidades Litológicas

Dentro del área de estudio pueden identificarse varios tipos de rocas volcánicas, productos piroclásticos y materiales producto de la erosión e intemperismo de rocas preexistentes; por determinación macroscópica, se calificaron como dacitas, andesitas, sus respectivos productos piroclásticos que actualmente forman tobas y basaltos con sus productos piroclásticos respectivos. Existen además materiales producto de la erosión e intemperismo de las rocas anteriores, dando lugar a depósitos superficiales de poca importancia. La distribución de estas unidades puede observarse en el plano del anexo No. 5.1.

A continuación se mencionan las características de las diferentes unidades litológicas, así como su edad relativa, cronológicamente de la más antigua a la más reciente.

5.2.1.- Rocas Igneas Extrusivas de Composición Intermedia

(Mvd, Mtbi, Plva)

Bajo este nombre se agrupan rocas volcánicas de compo

sición intermedia, clasificadas megascópicamente como dacitas, andesitas y tobas de la misma composición, de edad Mioceno-Plioceno (1), debidas a la actividad de los volcánes Ixtaccíhuatl y Popocatépetl.

De estas rocas la más antigua corresponde a las dacitas (mvd), que se observan al oeste de Santo Tomás Atzingo, en un banco de material denominado el Púlpito del Diablo; en este sitio la roca se presenta muy fracturada e intemperizada, las fracturas son de poca extensión (en ocasiones hasta de 3 m de longitud) cuyos planos de fractura se encuentran separadas escasos milímetros, con estos espacios rellenos de arcilla derivadas de la alteración de la misma roca.

Morfológicamente está representada por un elemento positivo, que sobresale de los materiales volcánicos más recientes, y que es coronado en su parte occidental por una colada de andesita y brecha andesítica por lo que se infiere que es la roca más antigua de las observadas, posiblemente del Mioceno, relacionada con las primeras emisiones del Popocatépetl y el Ixtaccíhuatl.

Entre el Salto y La Cañada de Huehexotla, así como en San Rafael, se observan afloramientos de tobas (Mtbi), cuyos componentes son fragmentados de andesitas, dacitas y pricolastos de la misma composición: estas tobas se encuentran muy intemperizadas y erosionadas, el intemperismo se manifiesta por una gruesa capa de alteración arcillosa hasta de 50 m o más de espesor; y la erosión por el intenso drenaje que las corta orientado este-oeste, en las faldas de los volcánes Ixtaccíhuatl-Popocatépetl.

Dentro de esta misma zona, aguas arriba, 5 Km al ---

(1) Carl Fries, Jr.

oriente de Amecameca puede notarse que los depósitos de tobas controlaron los derrames de andesitas (Plva) más recientes (Plioceno). -- Las emisiones de roca andesítica y brechas andesíticas en menor proporción tienen sus límites superficiales aproximadamente a lo largo de coladas masivas, cubiertas en su parte superior por materiales piroclásticos aún más recientes y flanqueadas a la entrada del Valle - por depósitos más antiguos de tobas (Mtbi).

Las andesitas se encuentran muy fracturadas, las cuales adquieren dimensiones de fracturamiento notables, hasta de 20 m de longitud y con espaciamiento en sus planos hasta de 20 cm, espacio que se encuentra sin rellenar. Regionalmente tiene un sistema de fracturamiento radial y localmente orientado preferencialmente este-oeste, con ligeras variaciones NE-SW.

De acuerdo con los estudios petrográficos realizados por el Ing. Enrique Espinoza Amador en su tesis profesional se identifica a dichas rocas como andesitas de piroxenos y Hornblenda con la siguiente mineralogía: Oligoclasa, Andesina, hornblenda, magnetita, augita y enstatita entre los principales.

5.2.2.- Rocas Igneas Extrusivas de Composición Básica

Las rocas ígneas extrusivas de composición básica las forman coladas de basalto (Qvb) y productos piroclásticos de diferentes granulometría (Qcv y Qpp), con una amplia distribución en el valle y al occidente de Amecameca; mientras que al oriente cubre rocas andesíticas con espesores variables de este material. Estas rocas y materiales piroclásticos son debidos a la emisión de aparatos volcánicos como el Chinconquiac, Xoyacán, Tapeixtle, Tenanyo, La Joya, -- Amoloc, Cuatempel, etc. y a los últimos periodos de actividad del Po-

pocatépetl e Iztaccíhuatl. Todos estos volcanes forman parte del -- Grupo Chichinautzín (3) (que se caracteriza por estas estructuras volcánicas y por la emisión de estos materiales), los cuales estuvieron activos durante el Pleistoceno y Reciente.

Los basaltos se presentan como coladas del tipo aa y pahoehoe (aa, ph), ambas con alto contenido de fracturas y vesículas; las coladas del tipo (aa) se observan en la unidad volcánica localizada al oeste de la población Tenango del Aire y al norte de San Rafael. Las coladas del tipo Pahoehoe son representativas de las unidades volcánicas del Chinconquiac, Xoyacán y otras adyacentes.

La emisión de diferentes coladas de basaltos y de piroclásticos, se distinguen a partir de la fotointerpretación por sus características y extensión, como se observa en el plano hidrogeológico del anexo No. 5.1, donde además se muestran los conos volcánicos cineríticos y mixtos (Qcc, Qcm).

Los productos piroclásticos alternan con los basaltos presentando una granulometría muy variada, desde cenizas (Qcv) hasta lapilli (Qpp), siendo más abundantes en superficie las primeras. Sus espesores varían desde unos cuantos decímetros hasta varios metros - en el Valle de Amecameca, donde los espesores de cenizas volcánicas son considerables.

Los basaltos son identificados en Tlalmanalco como: - basalto de plagioclasa calcica, pigeonita y olivino (Ing. Espinoza - Amador).

5.2.3.- Materiales Recientes (Producto de erosión e intemperismo Qal, Qsr)

Los materiales recientes son debidos a la erosión e -

(3) Carl Fries, Jr.

intemperismo de las rocas anteriormente mencionadas; los productos de erosión son considerados a partir de la degradación física, transporte y depósitos de rocas preexistentes, dando lugar a depósitos como los observados al noroeste del plano hidrogeológico del anexo No. 5.1, designados como (Qal). Los productos debidos a la acción del intemperismo dan lugar a capas superficiales de alteración, principalmente a suelos como el caso del valle de Amecameca donde tenemos amplia distribución de suelos residuales a partir de las cenizas volcánicas (Qsr).

Para el caso de las tobas alteradas, no se consideran dentro de estos depósitos por implicar funciones hidrogeológicas diferentes. Los materiales recientes se consideran de poca importancia por su poco espesor, pues no afectan en forma considerable el sistema hidrogeológico.

5.3.- Geología Estructural

La geología del área presenta diferentes aspectos estructurales y tectónicos íntimamente ligados entre sí. Pueden observarse diferentes estructuras volcánicas, de acuerdo con su evolución entre ellas pueden diferenciarse dos, las estructuras correspondientes a los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl y las debidas al conjunto de estructuras volcánicas del grupo Chichinuatzn.

Todas las estructuras anteriores se encuentran alineadas, unas con respecto a otras, con orientaciones preferenciales norte-sur y este-oeste. Estas características parecen tener relación con un patrón tectónico preexistente a la formación de las diferentes unidades volcánicas. A continuación se describen las características estructurales tectónicas observadas.

Las estructuras del grupo Chichinautzín corresponden principalmente a: conos volcánicos constituidos por los materiales arrojados por el volcán y que descansan bajo su ángulo de reposo de 30° aproximadamente, la mayor parte de los conos volcánicos son del tipo mixto y menor proporción del tipo cinerítico, cráteres volcánicos, visibles para la mayor parte de las unidades; conos adventicios, como el caso del volcán Chinconquiac que tiene tres conos de este tipo y finalmente, diferentes coladas de basalto con distribución radial, a partir del foco de emisión, distinguiéndose dos tipos de acuerdo con las características topográficas preexistentes pues aparentemente no existen diferencias en su composición, correspondientes al tipo aa y pahoehoe.

Para el caso de las unidades volcánicas del volcán Ixtaccíhuatl y del Popocatepetl, las únicas características observadas dentro del área de estudio, son frentes de coladas de rocas dacíticas, cuya distribución fue controlada por la topografía desarrollada en las rocas dacíticas y los depósitos de tobas de composición intermedia, que estaban sujetos al desarrollo de grandes barrancas; estas características pueden observarse en la cercanía de El Salto.

Desde el punto de vista tectónico es notable la orientación existente entre las diferentes unidades volcánicas las cuales se muestran en el plano de la figura No. 5.3.1. Puede observarse que los cráteres de los volcanes Ixtaccíhuatl y Popocatepetl se encuentran orientadas aproximadamente NO 8° W, los volcanes Tenayo, Chiconquiac, Xoyacan y Tlacotepec siguen una alineación norte-sur, al igual que los volcanes Atlalcorra y Hupilo.

Existe otro arreglo principal con orientación preferencial este-oeste, como es el caso del que existe entre los volca-

nes Chiconquiaco y del que se encuentra al oeste de Tenango del Aire. Además de los patrones principales existen sistemas secundarios a -- 30° y 60° de estos.

5.4.- Geomorfología

La zona de estudio se encuentra en la superficie de un complejo sistema volcánico que regionalmente funciona como el parateguas continental del Valle de México al norte, y del Valle de Cuauhtla en su parte sur; dentro de este sistema volcánico se desarrolla un pequeño valle en materiales piroclásticos recientes, sobre el cual se localiza la población de Amecameca de Juárez la que se utiliza como punto de referencia para las presentes descripciones.

La zona de estudio presenta tres aspectos geomorfológicos principales, el primero situado al oriente de Amecameca sobre rocas ígneas de composición intermedia del terciario; el segundo en el valle en materiales piroclásticos, sobre el que se localiza la dicha población y la tercera al occidente de ésta en rocas y productos piroclásticos de composición básica, estas dos últimas de edad Pleistoceno-Reciente.

Los rasgos geomorfológicos que se observan al oriente de Amecameca principian a 1 Km de distancia de la población con una topografía muy irregular que se levanta rápidamente desde la cota -- 2 500 m.s.n.m., hasta culminar en la cima del volcán Popocatepetl a una altura de 5 452 m.s.n.m. y hasta 5 280 m.s.n.m en el Ixtaccihuatl. Al suroeste de la población este cambio se manifiesta a partir de la cota 2 600 m.s.n.m. a la altura de San Miguel Nexapa. Esta -- área se encuentra cortada por gran número de arroyos y barrancos que han erosionado intensamente en el sentido vertical a través de frac-

turas desarrolladas en rocas como andesitas y dacitas, así como en sus respectivas tobas. Las barrancas y arroyos siguen orientaciones predominantes este-oeste y que dentro del sistema volcánico Ixtaccihuatl-Popocatépetl corresponden a un tipo de drenaje radial cuyo centro se localiza en el cráter de estos volcanes.

La morfología anterior se ve bruscamente interrumpida hacia el poblado de Amecameca, transformándose en un pequeño valle orientado norte-sur, desarrollado sobre cenizas volcánicas alteradas en superficie, debidas a las últimas emisiones del Popocatépetl y de los volcanes Xoyacán y Chiconquiac. Este valle puede limitarse al oriente sobre la cota 2 500 m.s.n.m. y al occidente sobre la cota -- 2 400 a partir de la cual se levantan los volcanes Xoyacán y Chiconquiac.

El drenaje dentro del valle presenta poco desarrollo limitándose a pequeños arroyos y barrancos que drenan hacia el occidente. Dentro del Valle, la topografía suave es únicamente interrumpida por un cono cinerítico denominado el Sacromonte inmediatamente junto a Amecameca.

Al occidente de la población y a partir de la cota -- 2 400 m.s.n.m. aproximadamente, se presentan dos unidades volcánicas dominantes, correspondientes a los volcanes Chiconquiac al noroeste y Xoyacán al suroeste, los cuales tienen una orientación norte-sur. Estas unidades volcánicas presentan estructuras cónicas semejantes, las que individualmente son debidas a la emisión de coladas de basalto del tipo pahoehoe y a productos piroclásticos en un radio de influencia de 5 a 6 Km para el volcán Chiconquiac y de 1 a 2 Km para el volcán Xoyacán; manifestándose por una topografía que se eleva --

suavemente en forma radial con pendientes de 10° en sus alrededores para cambiar bruscamente a 30° en lo que corresponde al cono volcánico.

La influencia de ambos volcánes se observa a la altura del poblado de Ayapango, donde por medio de la fotointerpretación pudo diferenciarse una interdigitación de ambas unidades volcánicas.

Al occidente del volcán de Chinconquiac se observa -- otra unidad volcánica diferentes a las descritas, presenta estructura semi-radial con un radio de acción en sus coladas de 3 Km. Al -- occidente del Volcán Xoyacán se presenta un conjunto de pequeños conos cineríticos cuya actividad volcánica se limita a 2 o 3 Km de influencia irregular.

El drenaje superficial de la zona de estudio aún no se encuentra bien integrado, observándose que al este de Amecameca se presenta como un conjunto de arroyos y profundos barrancos que -- tienden a drenar el agua de lluvia de las partes altas hacia el valle, en una sección de 10 Km.

En esta zona pueden observarse algunos manantiales -- producto de la circulación del agua a través de los materiales piroclásticos que en contacto con la roca andesítica compacta afloran como tales. También es notable que una vez que los arroyos y barrancos llegan a el valle, se pierde gran parte del agua por infiltración en los materiales piroclásticos de buena permeabilidad, restringiéndose de esta manera la circulación superficial del agua.

En el valle se desarrollan arroyos principales como -- Los Reyes y San José, así como los barrancos Mazacone y Cuamilulpa -- los cuales drenan superficialmente el valle hacia el occidente, a --

través de los poblados de Ayapango, Tenango del Aire y Temamantla para finalmente drenar al Valle de Chalco. Al sureste de Amecameca a la altura de San Pedro Nexapa se presenta un fuerte cambio en la dirección del drenaje, con una tendencia hacia el sur, buscando el Valle de Cuautla, sin alimentar superficialmente el Valle de Amecameca.

5.5.- Geología Histórica

A partir de las rocas observadas en la zona de estudio, la historia geológica se inicia en el Mioceno (1) con la emisión de rocas volcánicas como las dacitas que afloran en el "Púlpito del Diablo", debidas a las primeras actividades del Iztaccíhuatl y del Popocatépetl. Durante el Mioceno Superior la actividad de estos volcanes es principalmente piroclástica, actualmente evidenciada por las tobas de composición intermedia (Mtbi), con un intenso desarrollo fluvial en ellas, lo que propicio el control de los frentes masivos de andesita (Plva) a fines del Mioceno y durante el Plioceno. Los emplazamientos anteriores caracterizan la morfología actual en las faldas occidentales del Iztaccíhuatl.

También entre el Plioceno y Pleistoceno existieron fuertes períodos de erosión, desarrollándose un sistema de drenaje radial con centro en los volcanes Iztaccíhuatl-Popocatépetl. Durante el Pleistoceno y Reciente se inicia la actividad de otro sistema volcánico conectado al sistema anterior correspondiente al Grupo Chichinautzín, con la emisión de lavas de composición básica (basaltos) del tipo aa y pahoehoe (de acuerdo a la topografía preexistente) y a grandes volúmenes de productos piroclásticos, en los que predominan las cenizas volcánicas en los últimos períodos de actividad. Las es

(1) Carl Fries, Jr. sitúa en todo el Mioceno un grupo volcánico indiferenciado en la zona de influencia del Popocatépetl.

estructuras del Grupo Chichinautzin la representan conos volcánicos del tipo mixto y cinerítico que controlan la morfología al occidente de Amecameca.

FIGURAS

A PARTIR DE
ESTA PAGINA

FALLA DE
ORIGEN.

6.- GEOQUIMICA

La composición química de las aguas subterráneas y su perfiles es debida a la evolución que estas han tenido desde su precipitación, donde normalmente tienen concentraciones de sólidos totales disueltos (STD) que varían entre 5 y 50 p.p.m. (1). Concentraciones que van aumentando paulatinamente cuando el agua escurre superficialmente o en el subsuelo a través de las diferentes unidades litológicas que se encuentran en la zona, disolviendo a su paso diferentes tipos de minerales que son termodinámicamente inestables. Se tendrán mayores concentraciones de STD de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- 1.- Entre mayor sea la distancia y tiempo de recorrido desde su precipitación hasta los sitios de muestreo.
- 2.- Si el recorrido fue superficial o subterráneo.
- 3.- Tipo de roca por la que circula (y estabilidad termodinámica de sus componentes minerales), entre mayor sea su inestabilidad mineralógica mayor es su disolución en agua.
- 4.- Incremento de STD y otros iones en dirección del flujo.

Esta evolución geoquímica es diferente de acuerdo al tipo o tipos de rocas y materiales que se encuentren en la zona, puesto que cada tipo de roca tiene una composición química definida y con-

(1) FREEZE and CHERRY, Groundwater p.p. 238-239.

diciones termodinámicas que les dieron origen. En el caso de los alrededores de Amecameca se tienen exclusivamente rocas volcánicas de composición intermedia y básica, por lo que la evolución geoquímica estará determinada por los componentes minerales de éstas rocas y por su estabilidad termodinámica.

Las rocas ígneas "... contienen apreciables cantidades de cuarzo y silicoaluminatos como son los feldespatos, (ferromagnesianos) y micas. Estos minerales se forman originalmente a altas presiones y temperaturas diferentes a las que dominan en la superficie terrestre.

" En la superficie del terreno, en la zona de suelo, en la zona de aguas subterráneas y a profundidades de cientos y miles de metros, estos minerales son inestables termodinámicamente y - tienden a disolverse en contacto con el agua". (2).

Para fines de este estudio no se hacen consideraciones cuantitativas del tipo termodinámico, solo se consideran las características mineralógicas apoyadas en el estudio petrográfico realizado en San Rafael y Tlalmanalco (3) y en los resultados de los análisis físico-químicos de varias muestras de agua de la zona.

De acuerdo al estudio petrográfico realizado en la Cuenca de Tlalmanalco-San Rafael se hicieron las siguientes identificaciones mineralógicas: las andesitas están constituidas principalmente por oligoclasa, andesina, hornblenda, magnetita, augita y ens-

(2) Op.Cit., p. 268

(3) Ing. ESPINOZA A.E., Tesis Profesional, UNAM.

tatita; mientras que las muestras de basalto presentan plagioclasa - cálcica, pigeonita y olivino. Estos minerales junto con su composición química se muestran a continuación:

Oligoclasa	((Na,Ca) Al (Si, Al) Si ₂ O ₈)
Andesina	(Na 0.5 Ca 0.5 Al 1.5 Si 2.5 O ₈)
Hornblenda	Ca ₄ Na ₂ (Mg,Fe) ₈ (Al,Fe,Ti) ₆ Si ₁₂ O ₄₄ (OH)
Magnetita	Fe O Fe ₂ O ₃
Augita	Ca (Mg,Fe,Al) (Al,Si) ₂ O ₆
Enstatita	Mg ₂ Si ₂ O ₆
Plagioclasa C.	Ca Al ₂ Si ₂ O ₈
Pigeonita	(Ca, Mg, Fe) Si ₂ O ₆
Olivino	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄

Puede observarse que los principales elementos corresponden al Sodio, Calcio, Magnesio, Hierro, Silicio y Oxígeno de los cuales se tiene información de concentraciones para los iones de Sodio, Calcio, Hierro y Magnesio en las muestras de agua analizadas. La relación de estos iones junto con la evolución geoquímica se describen a continuación.

6.1.- Evolución Geoquímica

Con base en lo anterior y en la información proporcionada por los resultados físico-químicos de las 22 muestras de agua (4), cuyos resultados se observan en la tabla de la figura No. 6.1 y la localización de los sitios de muestreos se muestran en el -

(4) Obtenidas del Estudio Geohidrológico realizado por ICG,S.A. para S.A.H.O.P.

plano de la figura No. 6.2; se hizo una selección de 13 muestras con las que se hizo una configuración de isovalores de STD; configuración que se observa en la figura No. 6.3. En esta configuración puede observarse que la concentración de STD en las muestras de agua superficial que se encuentran en los límites de entrada al Valle de Amecameca son de 152 p.p.m. en El Salto y de 124 p.p.m. en Las Palomas, notándose que en las muestras de 3 norias y 1 pozo, al occidente de Amecameca, existe un incremento en el contenido de STD desde 150 p.p.m. hasta 500 p.p.m. en una longitud de 6 Km en dirección de drenaje superficial, mismo que debe corresponder al flujo subterráneo por las consideraciones hechas con anterioridad en este capítulo, mientras que hacia el suroeste de Amecameca se observa un incremento de STD desde 200 p.p.m. hasta 350 p.p.m. (según información de análisis en seis obras en una longitud de 4.2 Km.

Así mismo se construyó una configuración de valores para los iones de sodio, calcio y magnesio con la información de muestras obtenidas al occidente de Amecameca, esta configuración se observa en la figura No. 6.4; con los resultados obtenidos al sur de Amecameca no se pudo establecer ninguna correlación aparente. De acuerdo a la configuración de los iones de calcio y magnesio, es notable el hecho de que estos aumentan sus concentraciones en el sentido del flujo superficial; el ión magnesio se incrementa desde 5 p.p.m. hasta 30 p.p.m. en una longitud de 2.7 Km y el ión calcio lo hace desde 10 p.p.m. hasta 40 p.p.m. en el mismo tramo; en cuanto al ión sodio no existe relación aparente.

Con la información anterior puede concluirse que existe un movimiento de las aguas subterráneas hacia el occidente de Amecameca, evidenciada por la evolución geoquímica existente entre la depresión que forman los volcanes Chiconquiaco y Xoyacán. Hacia el sur del Valle no pudo concluirse lo mismo, únicamente que en ese sitio - las condiciones de flujo son complejas.

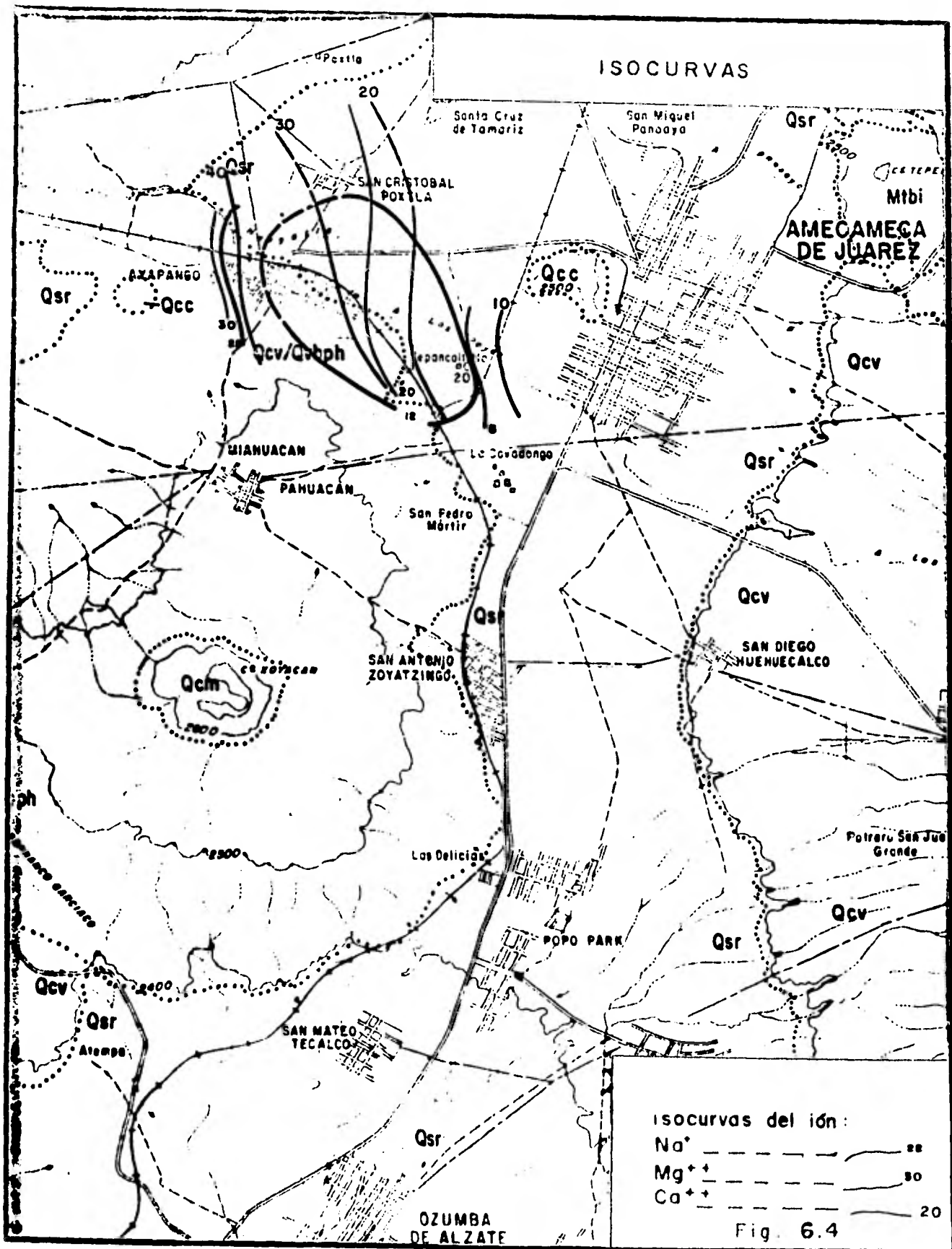
FIGURAS

RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

Muestra No.	Na	Ca	Mg	STD
	Concentraciones en p.p.m. (1)			
1	15	18	19	240
2	5	14	22	202
3	2	40	11	256
4	12	11	39	286
5	1	16	12	256
6	14	16	18	268
7	2	64	13	350
8	9	30	22	284
9	12	24	19	248
10	12	13	5	130
11	37	43	29	484
12	14	6	8	152
13	2	14	1	124

(1) partes por millón (ppm)

Fig.- 6.1



ISOCURVAS

AMECAMEGA DE JUÁREZ

OZUMBA DE ALZATE

isocurvas del ión:

- Na⁺ ----- 20
- Mg⁺⁺ - · - · - · 30
- Ca⁺⁺ ————— 40

Fig. 6.4

7.- GEOFISICA

A partir de la fotointerpretación y de los reconocimientos geológicos de campo fué posible delimitar en la superficie del terreno la distribución, extensión y características de los acuíferos así como sus zonas de recarga. Las exploraciones geofísicas eléctricas de resistividad se interpretan para determinar la continuidad y espesor de las diferentes unidades hidrogeológicas en el subsuelo; esta interpretación se establece a partir del comportamiento eléctrico de las unidades geológicas el cual difiere en función de sus propiedades eléctricas, tipo de roca, composición mineralógica, compacidad, grado de fracturamiento y porcentaje de saturación de agua.

7.1.- Método y Equipo Empleado

El método eléctrico de resistividad, básicamente consiste en inyectar corriente continua a través de dos electrodos (A y B), registrándose al mismo tiempo las diferencias de potencial que crea dicho campo a través de dos electrodos (M y N) destinados a tal fin de acuerdo a un arreglo geométrico de electrodos preestablecido. En este caso se utilizó el arreglo tetrapolar tipo Schlumberger el cual se muestra en la figura No. 7.1. La medición de corriente se hace por medio de un miliamperímetro y las diferencias de potencial con un milivoltímetro, tal como se indica en la misma figura.

Posteriormente se obtiene la resistividad aparente del terreno, aplicando la siguiente ecuación derivada de la Ley de Ohm para el arreglo mencionado:

$$\rho_a = \frac{\Pi}{4} \frac{AB^2 - MN^2}{MN} \frac{AV}{I}$$

Donde:

ρ_a = Resistividad Aparente (ohms-m)

\overline{AB} = Espaciamiento entre electrodos de corriente (m)

\overline{MN} = Espaciamiento entre electrodos de potencial (m)

AV = Diferencia de potencial entre MN (milivolts)

I = Corriente que se inyecta entre AB (miliamperes)

Los diferentes valores de resistividad aparente que se obtienen son graficados contra el semiespaciamiento de los electrodos de corriente ($AB/2$) en papel doble logarítmico de 3 ciclos por eje, a través de este procedimiento puede detectarse cualquier anomalía en el registro y llevar un control más preciso del mismo.

Entre lectura y lectura se abren continuamente los electrodos de corriente con el fin de penetrar a mayor profundidad, de acuerdo a un espaciamiento preestablecido. Los electrodos M y N se mantienen con una abertura más o menos constante hasta que lo permiten las diferencias de potencial medidas, caso en que se abren dichos electrodos siempre en una longitud menor a la quinta parte de la abertura de los electrodos de corriente; a este procedimiento se le denomina translope. La abertura máxima de electrodos de corriente fué de 1600 metros.

7.2.- Interpretación

Los datos que se obtienen en el campo no representan valores reales de resistividad o profundidad, por lo cual deben hacerse ciertas correcciones para obtener teóricamente la resistividad y profundidad real de las unidades geoelectricas detectadas. Para ello se grafican nuevamente los datos de campo en una hoja normal y en otra transparente, en esta última se corrigen los puntos de translope de acuerdo al criterio del que interpreta y en base a los datos de campo.

Una vez que se hicieron las correcciones necesarias, - se llevó a cabo la interpretación de las mismas a través de un programa automatizado por computadora para n capas, mismo que se combinó -- con la interpretación de curvas patrón para dos y tres capas, y ába--cos del método de puntos auxiliares para el arreglo Schlumberger. -- Los resultados obtenidos se muestran en las tablas de la figura No. - 7.3 indicándose el espesor de las capas identificadas (I) su resis--tividad (ρ) y la forma en que se correlacionaron.

7.3.- Resultados

Con base en la interpretación de los 31 sondeos eléc--tricos verticales se realizó una correlación de ellos a través de -- cinco secciones geofísicas, construidas en las zonas de mayor interés y que mayor información del subsuelo pudiesen aportar. La localiza--ción de los sondeos y secciones se muestra en el plano de la figura - No. 7.2.

La primera de las secciones se construyó en las faldas de los volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl al oriente del Valle de - Amecameca y la forman los sondeos Nos. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12. La segunda sección se localiza al occidente del valle, en las faldas de los volcanes Chinconquiac y Xoyacan; esta sección la -- comprenden doce sondeos, correspondientes a los Nos. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 2 y 1. Ambas secciones conforman aproximadamen--te la periferia del valle.

Las secciones Nos. III, IV y V son transversales a las anteriores, con una orientación este-oeste; la sección No. II se loca--liza al sur del valle entre San Antonio Zoyatzingo y San Pedro Nexapa la comprenden los sondeos Nos. 23, 15, 12 y 24. La sección No. IV, -

se localiza ligeramente al sur de la población de Amecameca en un lugar intermedio del valle y la forman los sondeos Nos. 17, 25, 26, 27, 11 y 28. La última sección la forman siete sondeos que son los Nos. 29, 30, 31, 19, 32, 7 y 8 localizados al norte de Ayapango y Amecameca a lo largo de la depresión que forman los volcanes Chinconquiac y Xoyacan y la parte superior del valle.

El criterio utilizado en la interpretación y los resultados para cada sección se describen a continuación bajo subtítulo correspondiente.

7.3.1.- Criterio Utilizado en la Interpretación de las Secciones Geofísicas

Para interpretar las secciones geofísicas se consideró un modelo geológico del subsuelo de acuerdo a la evolución que afectó la zona de estudio; este modelo se hizo considerando las características físicas de las unidades litológicas en función de su composición mineralógica, compacidad, grado de fracturamiento y características hidrogeológicas; tomándose además su edad relativa y posible distribución, de acuerdo a su fuente de origen, tal como se describe en el capítulo de Geología.

El modelo consiste en suponer a las dacitas (Mvd) como la roca volcánica más antigua de la zona y que además constituye la base de los depósitos de tobas (Mtb), depósito posterior a un intenso proceso de erosión. Posterior a los depósitos de tobas y de un período de erosión, se depositaron coladas de andesitas que fueron controladas por la topografía preexistente quedando limitada al noroeste de Amecameca hasta la zona de El Salto; y hacia el sureste de la misma población es posible que su recorrido haya llegado hasta el inte-

rior del actual valle.

Por encima de estos depósitos se encuentran los materiales correspondientes al Grupo Chichinautzín, constituidos por coladas de basalto (Qvb) y productos piroclásticos en general (Qcv y Qpp); cubiertas ambas en ocasiones por una capa superficial de alteración (Qsr).

De acuerdo con lo anterior, la roca compacta se detectará con altas resistividades (400-2000 ohms-m) disminuyendo esta en función de su alteración, grado de fracturamiento y saturación de agua; mientras que las tobas y productos piroclásticos presentarán en general resistividades bajas e intermedias (30-500?), disminuyendo o aumentando también en función de su granulometría, composición mineralógica, alteración y saturación de agua.

7.3.2.- Sección Geofísica No. I (figura No. 7.4)

En esta sección se detectó un cuerpo resistivo (400 - 2100 ohms-m) a profundidades que varían entre 140 m. En el sondeo No. 3 y 400 m en el sondeo No. 13, este cuerpo presenta una topografía irregular y abrupta al que sobreyace un cuerpo de resistividad media (150-580 ohms-m) con espesores máximos de 420 m y mínimos de 100 m, la topografía que presenta es mucho más suave a la del primer cuerpo identificado. Sobre esta última unidad se detectó un tercer cuerpo continuo entre el sondeo No. 9 y el 13 encontrándose aislado en el sondeo No. 6, presenta resistividades elevadas (entre 500 y 1700 ohms-m), su espesor medio es de 40 m.

Inmediatamente encima de esta unidad se observa una cuarta con resistividades medias en general (100-450 ohsm-m) y altas entre el sondeo No. 13 y 10 (640 y 740 ohsm-m), con una resistividad

alta en el No. 2; el espesor medio es de aproximadamente 100 m .

De estas 4 actividades principales se interpreta que; la primer unidad corresponde a las dacitas (Mrd) que afloran en el Pulpito del Diablo, cerca del Sondeo No. 2; el segundo cuerpo corresponde a las tobas de composición intermedia (Mtbi), el tercero a las andesitas (Plva) y el cuarto al grupo Chichinautzin. (Qcb, Qcv y Qpp).

7.3.3.- Sección Geofísica No. II (figura No. 7.5.)

Esta sección presenta características semejantes a la sección anterior a excepción de que existe una influencia mucho mayor del Grupo Chichinautzin. Observándose además que hacia los extremos del valle existe una topografía positiva en la unidad que se identifica como toba (Mtbi), con zonas topográficamente más bajas en puntos intermedios.

7.3.4.- Sección Geofísica No. III

La sección No. III es mas representativa de la influencia del Volcán Popocatépetl en el valle. En esta sección puede observarse la misma distribución de unidades que en la sección No. I, con la diferencia de que el cambio de topografía en las dacitas (Mvd) es muy fuerte hacia el occidente del valle. Puede observarse también la continuidad y longitud de influencia de las andesitas en la parte sur del valle, así como los productos piroclásticos provenientes del Popocatépetl.

7.3.5.- Sección Geofísica No. IV

Esta sección muestra muy bien las condiciones hacia el centro del valle. Puede observarse lo irregular de la topografía en las dacitas, debida a la fuerte erosión a la que estuvieron sujetas; también es notable la influencia del volcán Popocatépetl con su emi--

si3n de rocas andesflicas, que tuvieron como lfmite en esa zona la -- parte central del valle, y las emisiones debidas al volc3n Xoyacan -- con una colada de basalto con limite hacia el sondeo No. 25. Los materiales pirocl3sticos emitidos por ambos volcanes interactuan hacia el centro del valle, teniendo una mayor pendiente topogr3fica hacia el oriente del mismo.

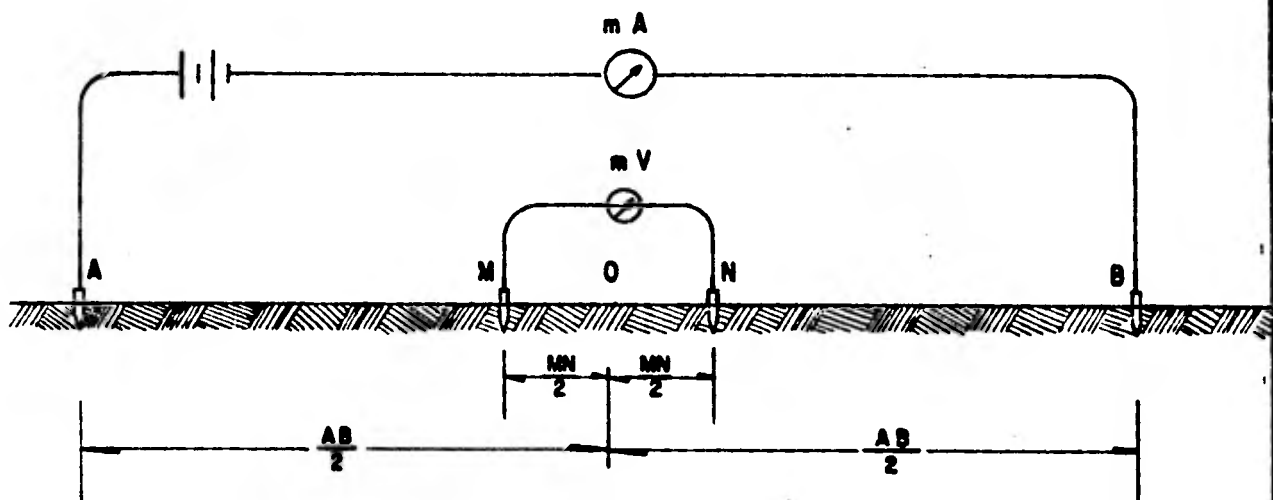
7.3.6.- Secci3n Geofsfica No. V

Las caracterfsticas en el subsuelo de esta porci3n centro-superior del valle de Amecameca, son representadas por esta secci3n; en ella es notable que las tobas constituyen la unidad principal desde una profundidad aproximada de 40 m, 3nicamente interrumpida por los dep3sitos volc3nicos del Pleistoceno y Reciente. En los sondeos Nos. 31 y 32 se detecta una colada de basalto debida posiblemente al volc3n Chinconquiac, con un elemento positivo en el sondeo No. 29.

A partir de la interpretaci3n de los sondeos el3ctricos verticales y de las cinco secciones geofsficas, se pudo determinar la distribuci3n y geometrfa de las diferentes unidades hidrogeol3gicas, adem3s de que permiti3 complementar la evoluci3n geol3gica que estas tuvieron desde su emplazamiento en la zona de estudio.

FIGURAS

ARREGLO TETRAPOLAR SIMETRICO TIPO SCHLUMBERGER

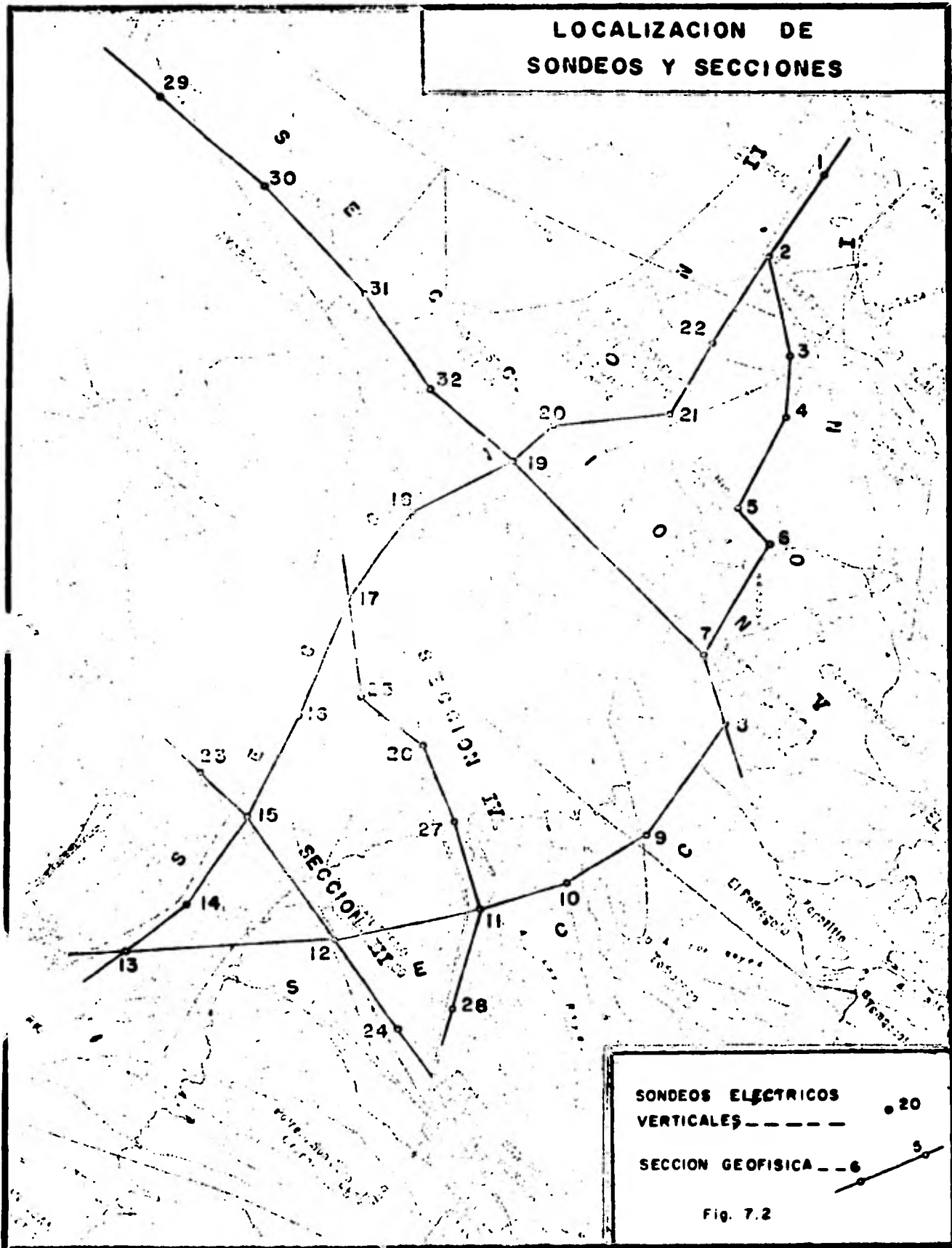


O = Centro del sondeo

$$\overline{AB} \geq 5 \overline{MN}$$

$$\rho = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\overline{AB}^2 - \overline{MN}^2}{\overline{MN}} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

LOCALIZACION DE SONDEOS Y SECCIONES



RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA		S	E	C	C	I	O	N	No. I.
		SEV - 13.	SEV - 12.	SEV - 11.	SEV - 10.	SEV - 9.	SEV - 8.	SEV. - 7.	SEV - 6.
1	I	3	0.55	1	0.85	1	1	1	1.90
	P	550	680	440	670	420	370	190	480
2	I	19	6.5	1	35	8	0.5	1	4
	P	275	340	130	340	170	240	700	140
3	I	50	12	7.5	59	41	4	20	49
	P	740	700	740	1750	440	650	140	460
4	I	58	81	7.5	15	100	7	258	55
	P	500	800	460	38	720	500	530	850
5	I	210	270	38	∞	90	13	∞	310
	P	385	480	950	540	430	200	220	280
6	I	∞	∞	395		∞	184		∞
	P	630	1100	280		750	340		1100
7	I			∞			∞		
	P			600			100		
8	I								
	P								
9	I								
	P								
10	I								
	P								
AB max. (m.)									

I.- Intervalo en mts.
P.- Resistividad en ohms-metro

Figura No. 7.3.

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	SECC. I. (Continuación).			S E C C I O N No. II.					
	SEV - 4.	SEV - 3.	SEV - 2.	SEV - 13.	SEV - 14.	SEV - 15.	SEV - 16.	SEV - 17.	
1	I	1	1.6	0.20	3	0.80	1.6	1	1.6
	P	110	1076	108	550	270	570	340	430
2	I	2	0.01	4	19	0.20	1	10	13
	P	138	210	54	275	54	110	134	85
3	I	5	0.5	36	50	6	7	19	135
	P	260	48	640	740	135	310	710	650
4	I	8	13	35	58	4	8	124	310
	P	190	220	310	500	340	1100	175	430
5	I	69	125	175	210	4	8	∞	∞
	P	280	440	156	385	80	150	100	860
6	I	125	80	∞	∞	37	55		
	P	170	1900	236	630	150	300		
7	I	∞	∞			168	∞		
	P	2100	110			210	185		
8	I					200			
	P					56			
9	I					∞			
	P					230			
10	I								
	P								
AB max. (m.)									

I.- Intervalo en mts.
P.- Resistividad en ohms-metro

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	No. II (Continuación).							
	S SEV - 18.	E SEV - 19.	C SEV - 20.	C SEV - 21.	I SEV - 22.	O SEV - 2.	N SEV - 1.	
1	I	3	1.4	1.20	2.20	0.80	20	0.70
	P	480	120	80	210	1290	108	270
2	I	9	1	3	7	5	4	6
	P	190	240	200	84	120	54	53
3	I	23	1	22	41	9	36	11
	P	600	95	115	95	210	640	400
4	I	21	12	113	165	17	35	2
	P	190	120	300	340	160	310	100
5	I	95	64	170	35	108	175	106
	P	700	310	460	40	860	156	150
6	I	∞	670	∞	∞	60	∞	95
	P	570	380	170	73	75	236	40
7	I		∞			∞		330
	P		150			250		∞
8	I							480
	P							
9	I							
	P							
10	I							
	P							
AB max. (m.)								

I - Intervalo en mts.
P - Resistividad en ohms-metro

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	S E C C I O N No. III. _				S E C C I O N No. IV.				
	SEV - 23.	SEV - 15.	SEV - 12.	SEV - 24.	SEV - 17.	SEV - 25.	SEV - 26.	SEV - 27.	
1	I	0.3	1.6	0.55	0.65	1.6	2.5	1	6
	P	180	570	680	400	430	180	950	600
2	I	4.3	1	6.5	19	13	2.5	4	11
	P	270	110	340	320	85	38	380	170
3	I	9	7	12	24	135	25	7	38
	P	950	310	700	1600	650	220	270	2000
4	I	80	8	81	166	310	40	32	75
	P	460	1100	800	260	430	150	380	440
5	I	185	8	270	∞	∞	∞	76	∞
	P	1650	150	480	740	860	380	230	1650
6	I	20	55	∞				∞	
	P	235	300	1100				550	
7	I	∞	185						
	P	650	400						
8	I		∞						
	P		700						
9	I								
	P								
10	I								
	P								
AB max. (m.)									

I.- Intervalo en mts.
P.- Resistividad en ohms-metro

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA	SECC. No. IV (Continuación)			S E C C I O N				No. V.	
	SEV - 11.	SEV - 28.	SEV - 29.	SEV - 30.	SEV - 31.	SEV - 32.	SEV - 19.	SEV - 7.	
1	I	1	1.3	5	2.6	1	2	1.40	1
	P	440	970	50	95	85	175	120	190
2	I	1	49	80	3.5	1	28	1	1
	P	130	280	225	480	55	70	240	700
3	I	7.5	50	∞	600	4	130	1	20
	P	740	980	1150	380	70	1100	95	140
4	I	7.5	40		∞	68	∞	12	258
	P	460	120		300	2900	128	120	530
5	I	38	∞			306		64	∞
	P	950	600			580		310	220
6	I	395				240		670	
	P	280				2700		380	
7	I	∞				20		∞	
	P	600				140		150	
8	I					∞			
	P					730			
9	I								
	P								
10	I								
	P								
AB max. (m.)									

I.- Intervalo en mts.

P.- Resistividad en ohms-metro

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

CAPA		SECC. No. IV (Continuación).							
		SEV - 8.							
1	I	1							
	P	370							
2	I	5							
	P	240							
3	I	4							
	P	650							
4	I	7							
	P	500							
5	I	13							
	P	200							
6	I	184							
	P	384							
7	I	∞							
	P	100							
8	I								
	P								
9	I								
	P								
10	I								
	P								
AB max. (m.)									

I.- Intervalo en mts.
P.- Resistividad en ohm-metro

S E C C I O N I

13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

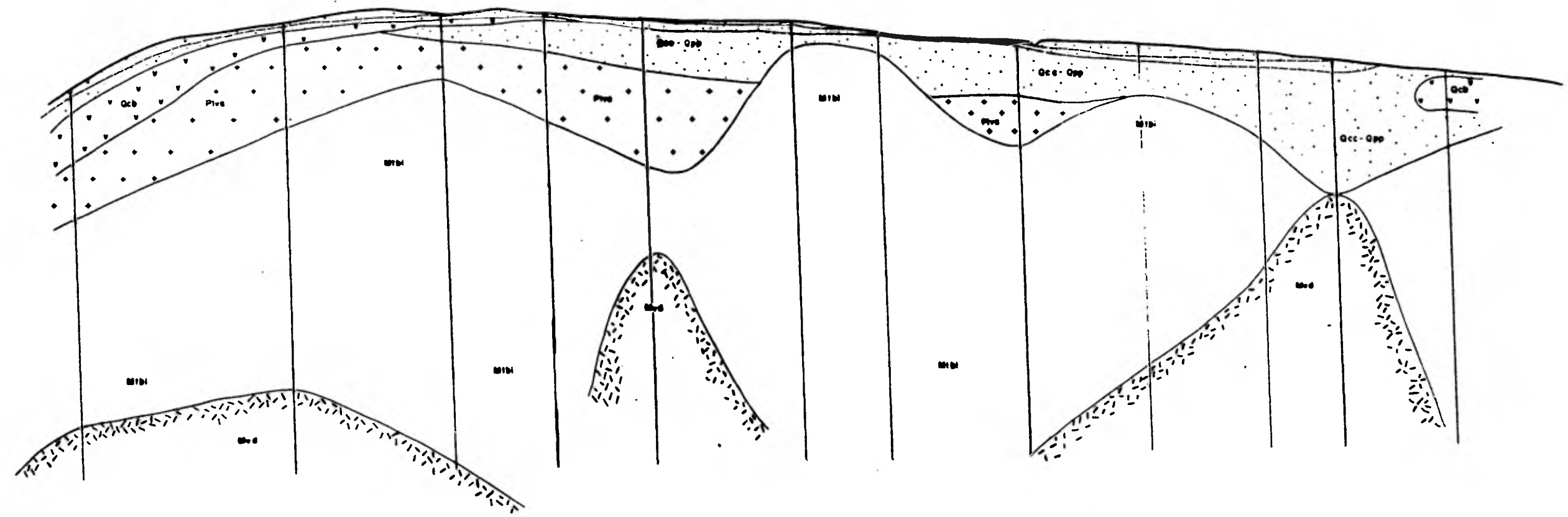
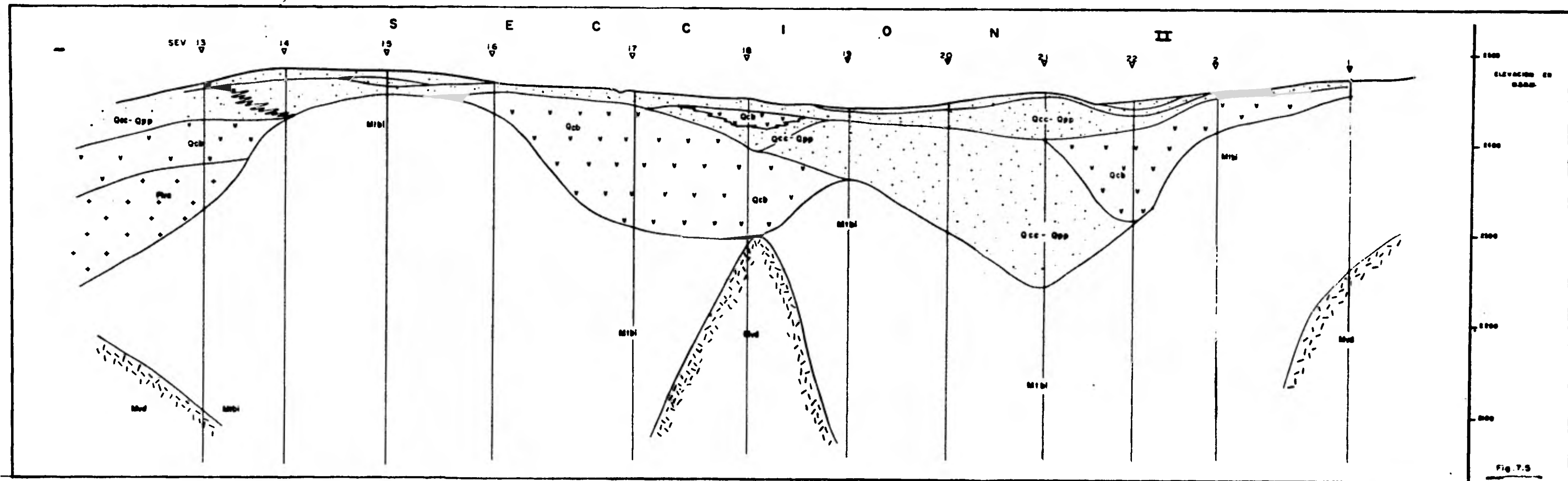


Fig 74



S E C C I O N III

SEV 23 15 12 24

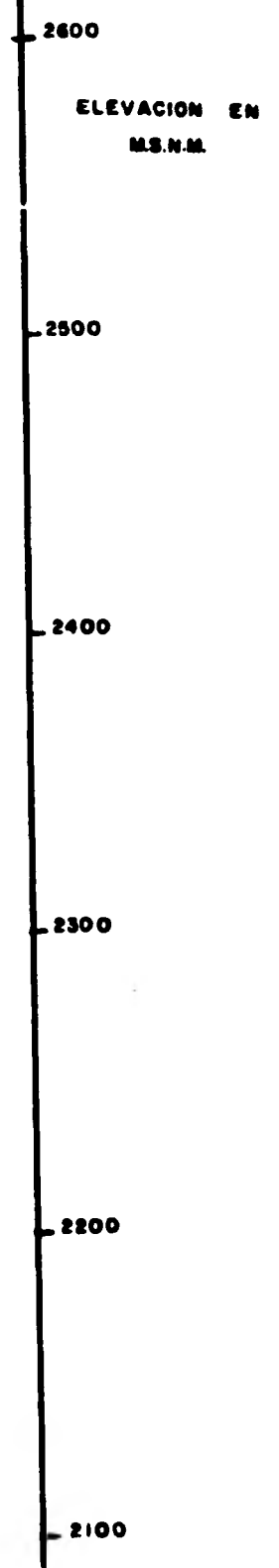
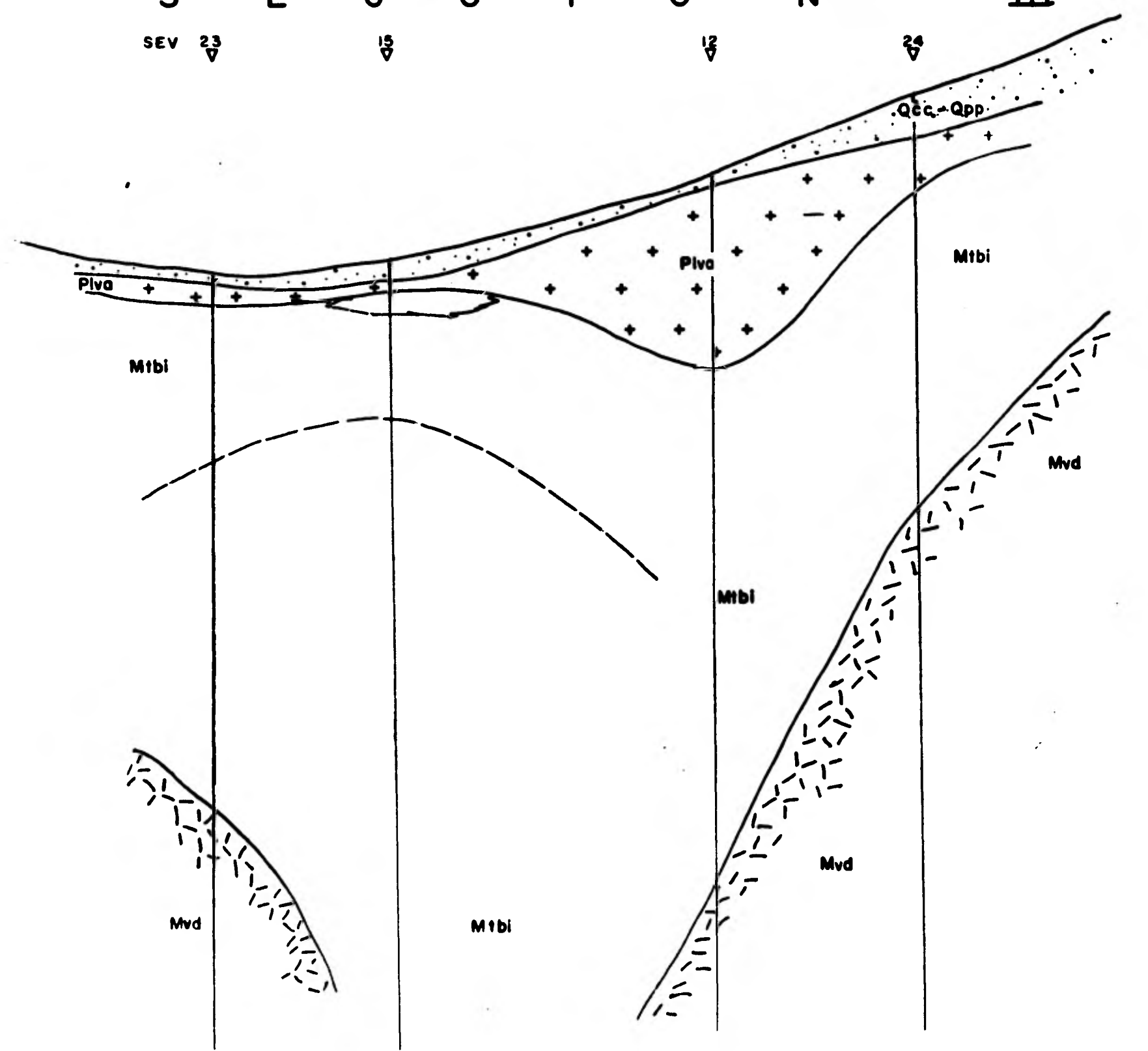


FIG. 7.6

47

S E C C I O N I V

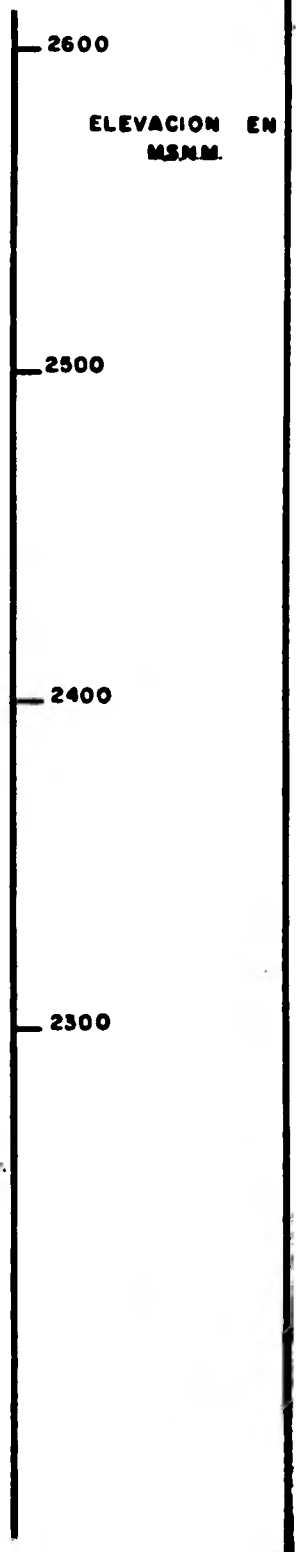
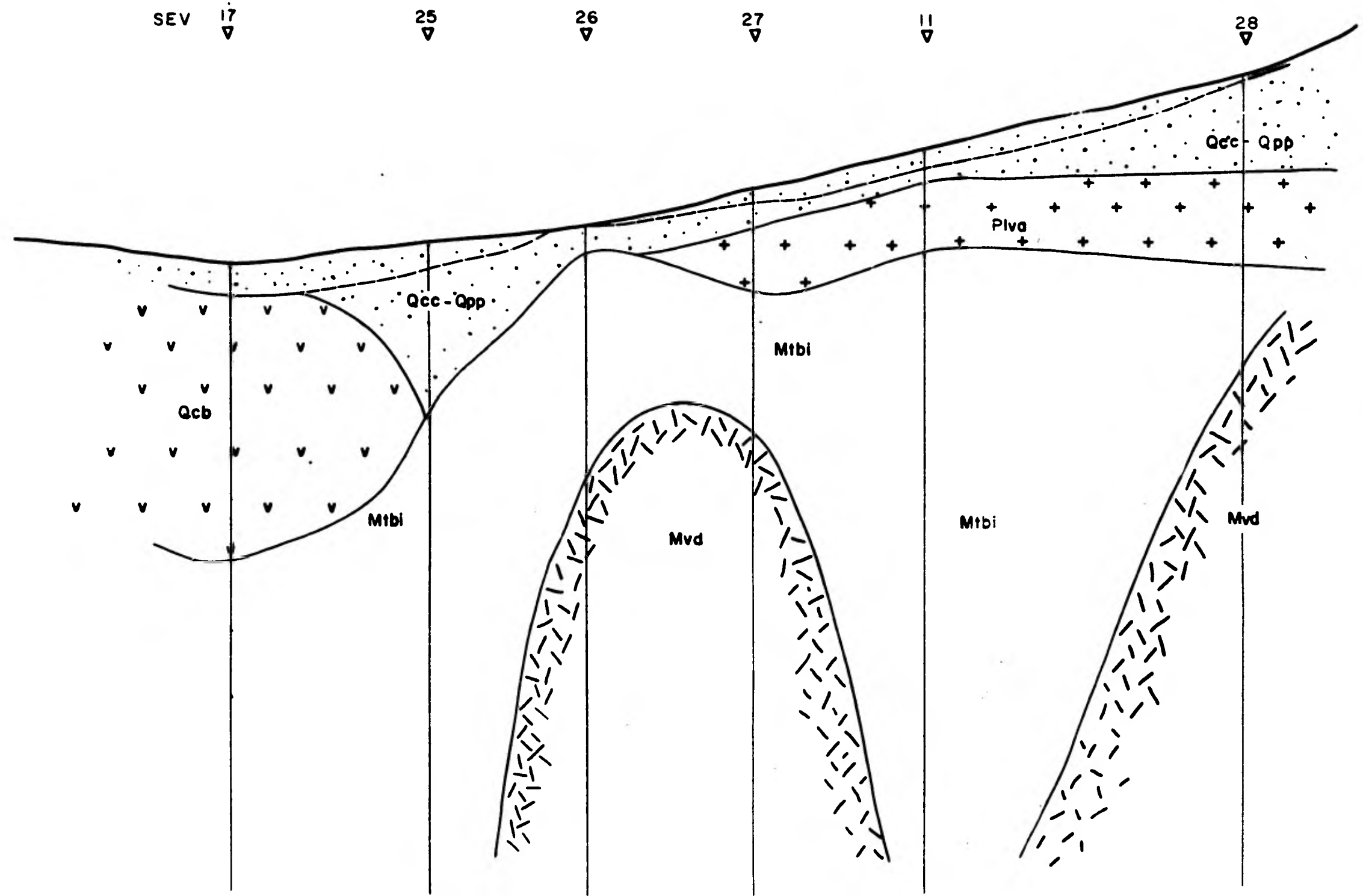


Fig. 7.7

S E C C I O N V

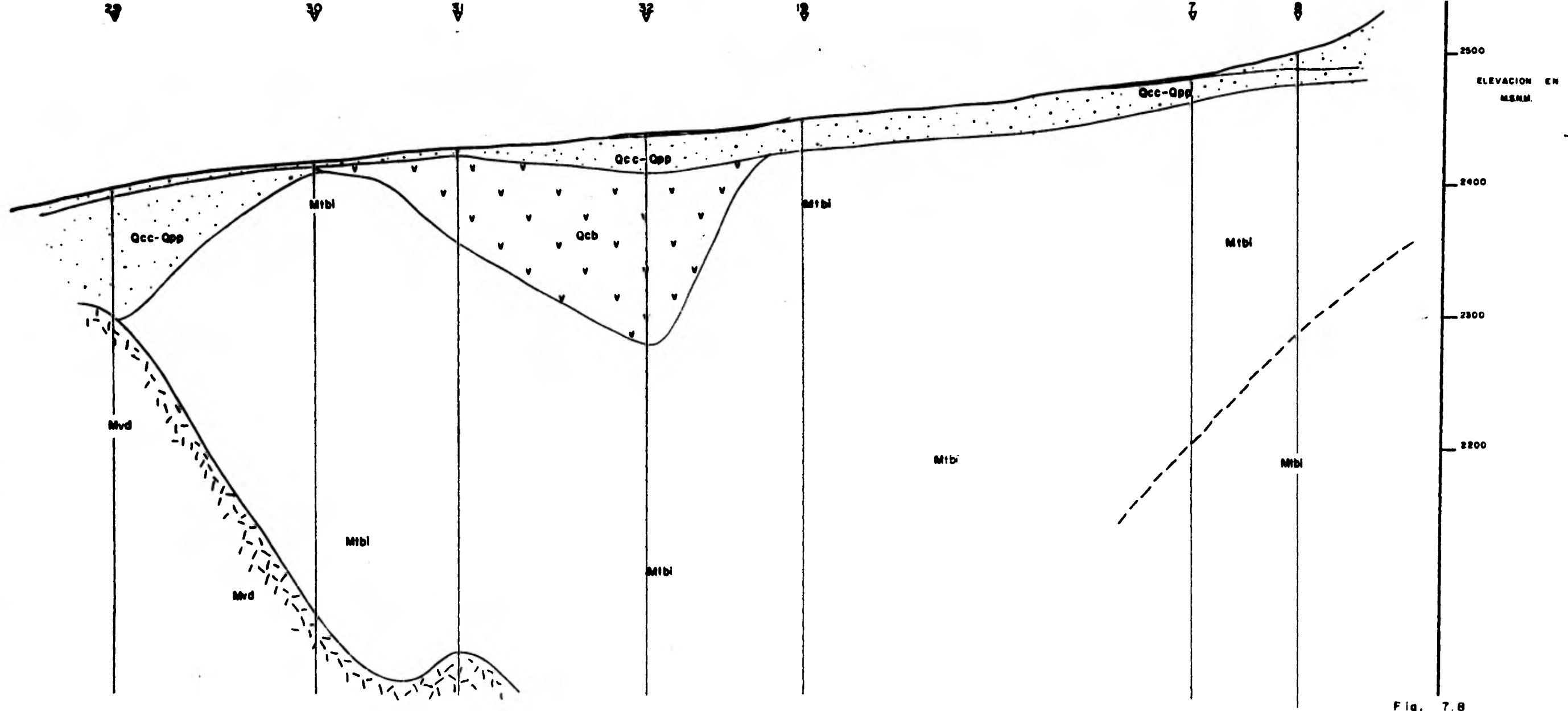


Fig. 7.8

8.- MODELO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDROGEOLOGICO

En este capítulo se reúne la información obtenida de capítulos anteriores, para establecer el funcionamiento cualitativo del sistema hidrogeológico estudiado, a partir de un modelo de comportamiento. Definiéndose antes los conceptos utilizados para dicho fin.

8.1.- Conceptos de Sistema y Modelo Hidrogeológico

Es necesario definir la forma en que se utilizan los conceptos de Sistema y Modelo en esta tesis profesional. Dooge (1967) define un sistema como " ... una estructura, mecanismo, esquema o procedimiento, real o abstracto, que interrelaciona en un tiempo de referencia dando una entrada, causa o estímulo de materia, energía o información; y una salida, efecto o respuesta de información - energía o materia" (1). De acuerdo con esta definición se puede presentar diagramáticamente un sistema como se observa en la figura No. 8.1.

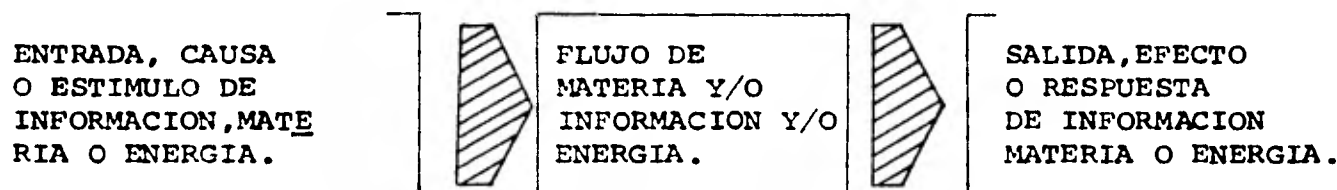


FIG. 8.1 Representación Diagramática de un Sistema (2).

(1) DOMENICO, Concepts and Models in Groundwater Hydrology, p. 6

(2) Modificado de Domenico, p. 5. Op.Cit.

Pueden existir sistemas abiertos, semiabiertos y cerrados, de acuerdo si existe intercambio de masa y energía, de energía pero no de materia, ni de materia ni de energía con el medio ambiente, respectivamente. El ciclo hidrogeológico se considera un sistema cerrado y el sistema hidrogeológico se considera abierto por las causas que se describen en este capítulo.

El estudio hidrogeológico es una parte del conocimiento del ciclo hidrogeológico en la hidrósfera y litósfera, por lo que es necesario para nuestro propósito representar este ciclo como un sistema. Según Dooge (1967), modificado por Domenico y modificado para los fines propuestos, en el ciclo hidrogeológico participan factores atmosféricos, de la litósfera e hidrósfera en los que se encuentran la precipitación (P), evaporación (E), transpiración (T), infiltración (I), percolación (Rn), flujo superficial (Qo) y subterráneo (Qi) que se retroalimentan mutuamente (Qr); el agua juvenil o conata (M) y el agua que retorna al océano (Ro), la relación entre estos factores se muestra en la figura No. 8.2.

De esta representación del ciclo hidrogeológico se puede hacer una abstracción de la zona que se localiza en el recuadro con línea discontinua y ashurada; la abstracción está relacionada directamente con las características geológicas superficiales y en el subsuelo de una región ó en forma particular con la zona del presente estudio, tal como se muestra resumida en la figura No. 8.3 donde además se consideran los factores biológicos y la influencia del hombre (H). La abs-

tracción hecha puede considerarse como un subsistema del ciclo hidrológico relacionado con un estudio hidrogeológico del mismo, ó bien, considerarse únicamente como un sistema para fines de análisis tal como se hará en las explicaciones que siguen.

Con base en lo anterior y en los objetivos propuestos puede considerarse el sistema hidrogeológico como un conjunto de factores del tipo geológico distribuidos en la superficie y con continuidad en el subsuelo, de tal manera que la entrada y salida de materia y/o estímulo y/o respuesta corresponden a el agua.

Si modificamos la figura No. 8.3 de tal manera que consideremos dentro del sistema hidrogeológico dos subsistemas, uno superficial y otro subterráneo con interacción entre sí y afectados a través de un intercambio de materia y energía con otros sistemas; entonces se puede construir el diagrama que se muestra en la figura No. 8.4. Bajo la acción de los dos subsistemas considerados el agua sufre cambios físicos y químicos relacionados con los factores geológicos, biológicos y atmosféricos sin considerarse para análisis posteriores los factores biológicos, atmosféricos y de la litósfera tales como la precipitación (P), la transpiración (T), evaporación (E), extracción de agua por medios humanos (H), la adición de agua juvenil (M) ó su relación con sistemas hidrogeológicos de zonas adyacentes (Sx). Debido a ésto se considera el sistema hidrogeológico como un sistema abierto, pues existe intercambio de materia y energía con el medio ambiente.

Volviendo ahora al concepto de Modelo, Domenico (1972) -

lo define de la siguiente forma " ... es una representación de la realidad, que intenta explicar el comportamiento de algunos aspectos de esta realidad siempre de una manera menos compleja al sistema real - que representa " (3).

Para los fines propuestos se toma esta definición para representar el complejo sistema hidrogeológico volcánico de una manera mucho más sencilla, en el grado en el que el modelo permita comprender el funcionamiento de este sistema.

3.2.- Factores que intervienen en el Sistema Hidrogeológico

Es necesario analizar cuales son los factores que -- constituyen el sistema, que modifican y controlan la entrada y salida del agua superficial y subterránea: los principales factores que intervienen en el sistema hidrogeológico son la presencia de las diferentes unidades litológicas y su posición estructural, relacionadas con la evolución geológica de la región.

Estos factores combinados entre sí nos determinan la geometría del sistema y sus características como acuíferos, de tal manera que son los que controlan el comportamiento del agua superficial y subterránea. Analicemos cada uno de los factores con mayor detalle:

3.2.1. Geometría del Sistema

La geometría del sistema está definida por la distribución superficial y en el subsuelo de las diferentes unidades hidrogeológicas identificadas en la zona de estudio. La geometría superficial de los acuíferos puede observarse en el plano hidrogeológico de

(3) Op.Cit. p.2.

la figura No. 5.1, mientras que la geometría del subsuelo se definió a partir de la interpretación de las secciones geofísicas que se observan en las figuras Nos. 7.4 a 7.8 del capítulo de Geofísica.

La geometría del subsuelo se construye a partir de la roca dacítica (Mvd) que aflora en "El Púlpito del Diablo" y que en el Valle se detecta a profundidades medias de 140 y 400 m, conformando una topografía muy irregular; por encima de esta unidad se localiza el acuitardo regional constituido por las tobas de composición intermedia (Mtbi), las cuales alcanzan espesores mayores a 400 m. y se encuentran a escasos 50 m. de profundidad en promedio hacia los límites norte y sur del Valle de Amecameca, formando depresiones topográficas en zonas intermedias por efecto de paleobarrancas.

Hacia la parte central y sur del Valle se detecta una emisión de andesitas provenientes del Popocatepetl cubriendo a las tobas mencionadas, teniendo como límite occidental la parte central del Valle; esta emisión de lava da lugar a una topografía de domo alargado que superficialmente se expresa como el parteaguas fisiográfico Sur de la Cuenca de Amecameca. En la parte Norte del Valle las emisiones de andesitas se limitan a la zona de El Salto.

Cubriendo a las unidades hidrogeológicas anteriores se encuentran los depósitos volcánicos del Grupo Chichinautzin, consistentes en emisiones de basalto y productos piroclásticos de diferente granulometría; sus espesores promedio varían entre 150 m. al occidente

del Valle y 30 m. al oriente del mismo.

En general puede considerarse la geometría subterránea del Valle como una depresión topográfica hacia la parte central del mismo, debida a un fuerte desarrollo fluvial que drenó las partes altas de los volcanes y erosionó intensamente las tobas del Mioceno Superior (Mtbi), con una salida principal en su parte poniente precisamente en lo que corresponde a la depresión topográfica superficial que forman los volcanes Chinconquiac y Xoyacán. La topografía anterior se encuentra cubierta por materiales volcánicos del Pleistoceno y Reciente (Qcv, Qpp y Qvb), materiales que en su mayoría son acuíferos.

8.2.2.- Unidades Hidrogeológicas

De acuerdo a las características cualitativas de porosidad y de permeabilidad de los diferentes materiales y rocas que se observan en la zona de estudio, se determinó que existen tres tipos diferentes de unidades hidrogeológicas; unidades que se definen a partir de la facilidad con que almacenan y permiten el flujo del agua subterránea.

8.2.2.1.- Acuíferos

El acuífero lo constituyen aquellas unidades geológicas que permiten el almacenamiento de grandes volúmenes de agua subterránea y permiten su circulación, de tal manera que de ellas se pueden explotar volúmenes considerables de agua.

En el área de estudio el acuífero lo constituyen los

materiales piroclásticos recientes (Qcv y Qpp) en toda su escala - granulométrica, y los derrames de basaltos fracturados del tipo aa (Qvbaa) y localmente los del tipo pahoehoe (Qvbph). Todos estos - materiales se encuentran distribuidos irregularmente en el área y constituyendo espesores saturados variables. Por su posición topográfica se encuentran drenados cuando están arriba del nivel freático regional.

El aluvión también funciona como acuífero, pero no se considera de importancia por su bajo desarrollo.

8.2.2.2.- Acuitardo o Acuicludo

Esta unidad está representada por las formaciones geológicas de baja permeabilidad, que permiten el almacenamiento de agua pero dificultan su circulación y por tanto su explotación.

El acuitardo de la zona lo forman las tobas de composición intermedia (Mtbi), los derrames de basalto del tipo pahoehoe (Qvbph) y los suelos residuales (Qsr), aunque estos últimos se encuentran drenados al igual que en ocasiones lo están los basaltos.

8.2.2.3.- Acuífugo

El acuífugo lo constituyen las unidades rocosas o materiales impermeables que no permiten el paso del agua a través de ellas ni tampoco su almacenamiento. Esta unidad hidrogeológica la constituyen las dacitas (Mvd) y andesitas (Plva), aunque las andesitas pueden adquirir buena permeabilidad cuando se encuentran fracturadas.

8.3.- Modelo del Funcionamiento Hidrogeológico

El agua de la atmósfera precipitada como lluvia, - granizo, nieve, rocío o neblina cae en las paredes altas de los volcanes Ixtaccíhuatl y Popocatépetl (o directamente en el Valle) sobre diferentes materiales como son productos piroclásticos Recientes y andesitas con fracturamiento local; la lluvia y el agua producto de los deshielos se infiltran en los materiales piroclásticos mientras que en las andesitas una parte se infiltra a través de las fracturas y otra escurre superficialmente.

Durante el recorrido superficial del agua es frecuente encontrar materiales piroclásticos ó una zona con alta densidad de fracturamiento, en los que se infiltra para continuar por algún tiempo o definitivamente subterráneamente; también sucede el caso contrario, que el agua que viaja subterráneamente encuentra cambios locales de permeabilidad aflorando en forma de manantiales. De esta manera se comporta el agua siguiendo el gradiente natural del terreno en las faldas de los volcanes donde las andesitas controlan principalmente el flujo del agua hasta llegar al Valle de Amecameca, lugar donde también se reincorpora el agua que fue precipitada como rocío, nieve o granizo.

En la zona de transición con el Valle de Amecameca se presenta un fuerte cambio en el comportamiento del agua, la cual en su mayor parte viajaba superficialmente por la proximidad de las unidades semipermeables e impermeables en el subsuelo. En el Valle de -

Amecameca las condiciones hidrológicas cambian se pasa de un subsistema hidrogeológico superficial a uno subterráneo, desapareciendo de nuestra visión el comportamiento del agua y presentándose ahora la incógnita del funcionamiento subterráneo.

Este funcionamiento podemos modelarlo reuniendo toda la información ya descrita en este capítulo y en capítulos anteriores. Como datos conocemos el Estímulo y los Factores que forman el subsistema hidrogeológico subterráneo desde un punto de vista cualitativo, de este subsistema desconocemos únicamente su efecto o respuesta, el cual podemos modelar de la siguiente manera: próximos al Valle cambian las condiciones hidrogeológicas, presentándose ahora la unidad que funciona como el acuífero regional y que se encuentra distribuido ampliamente en el Valle, correspondiente a productos piroclásticos principalmente. Por medio de la interpretación geofísica se definió aproximadamente la distribución, extensión, profundidad y espesor de las diferentes unidades hidrogeológicas las que van a controlar a partir de este momento el flujo del agua subterránea.

Las secciones Geofísicas Nos. III, IV y V ilustran muy bien el comportamiento subterráneo de las diferentes unidades hidrogeológicas en el Valle; en las Secciones Nos. III y IV hacia las faldas del Popocatepetl se presentan materiales piroclásticos con un espesor medio de 20 m. teniendo como base roca andesítica; el agua circula libremente por estos materiales piroclásticos hacia el interior del Valle de acuerdo al gradiente topográfico de la roca inferior

or.

En la parte superior del Valle según se observa en la Sección No. V, los espesores de material piroclástico presentan valores medios de 30 m. teniendo como base a las tobas de composición intermedia (Mtbi) con un gradiente topográfico subterráneo mucho menor al que forman las andesitas; el agua que circula en esta zona debe saturar a las tobas que representan el acuitardo regional y continuar su recorrido hacia el interior del Valle, con una tendencia preferencial hacia su parte central dada la topografía de esta base acuífera.

En la parte centro-occidental del Valle de Amecameca el espesor de los materiales del Grupo Chichinautzin es de aproximadamente 100 m. en promedio, se encuentran rellenando la depresión más fuerte originada por las tobas; por esta depresión tiende a drenarse subterráneamente el Valle en la misma dirección que el drenaje superficial. Este fenómeno también se identificó con la evolución geoquímica en la misma zona (ver figura No. 6.3). También existe un drenaje mucho menor a través del parteaguas sur como se determinó con la evolución geoquímica, debido a el espesor medio de 20 m. en piroclásticos permeables que sobreyacen a la emisión de roca andesítica.

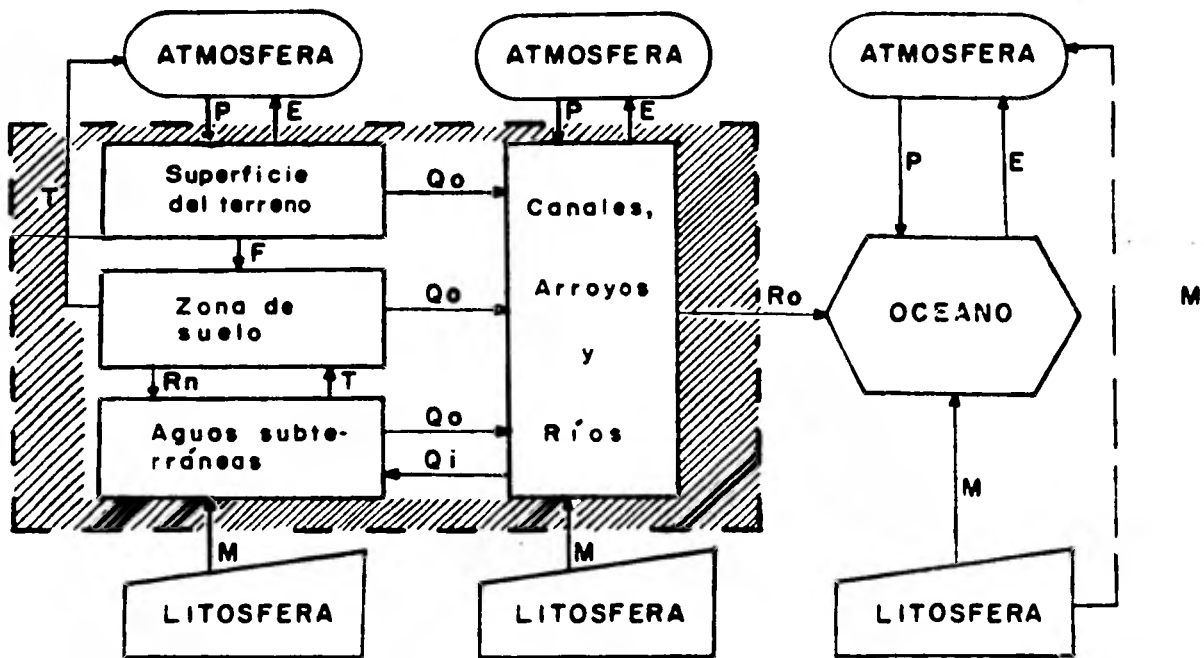
Lo anterior hace suponer que todo el Valle en el subsuelo se encuentra saturado en sus unidades acuíferas y de acuitardo, presentándose el caso de un recipiente de base irregular que se derrama en la parte Sur del Valle, con una salida principal hacia el occi-

dente del mismo a través de las unidades acuíferas; es posible que exista también un flujo de agua subterránea hacia el norte y sur - del Valle, por medio del acuífero que constituyen las tobas del - Mioceno Superior (Mtbi).

En el croquis de la figura No. 3.5 se muestra el - funcionamiento del Valle, de acuerdo a los resultados obtenidos.

FIGURAS

CICLO HIDROLOGICO



- P: precipitación.
- E: evaporación.
- T: transpiración.
- F: infiltración.
- Rn: percolación.
- M: agua magmática.
- Qo: flujo superficial o subterráneo que alimenta ríos y arroyos.
- Qi: " " que alimenta los acuíferos.
- Ro: agua que retorna al océano

FIG 8.2

ABSTRACCION DEL CICLO HIDROLOGICO

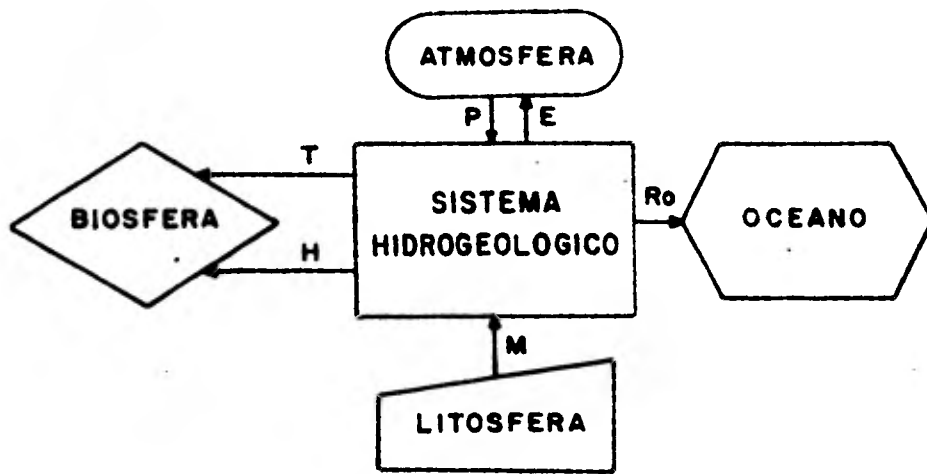


Fig. - 8.3

SUBSISTEMAS HIDROGEOLOGICOS

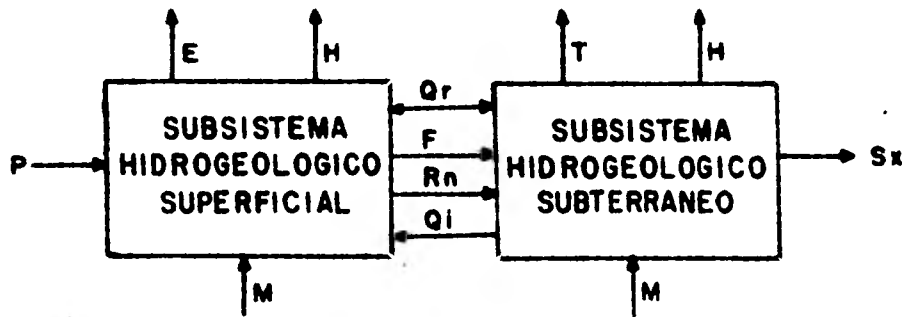
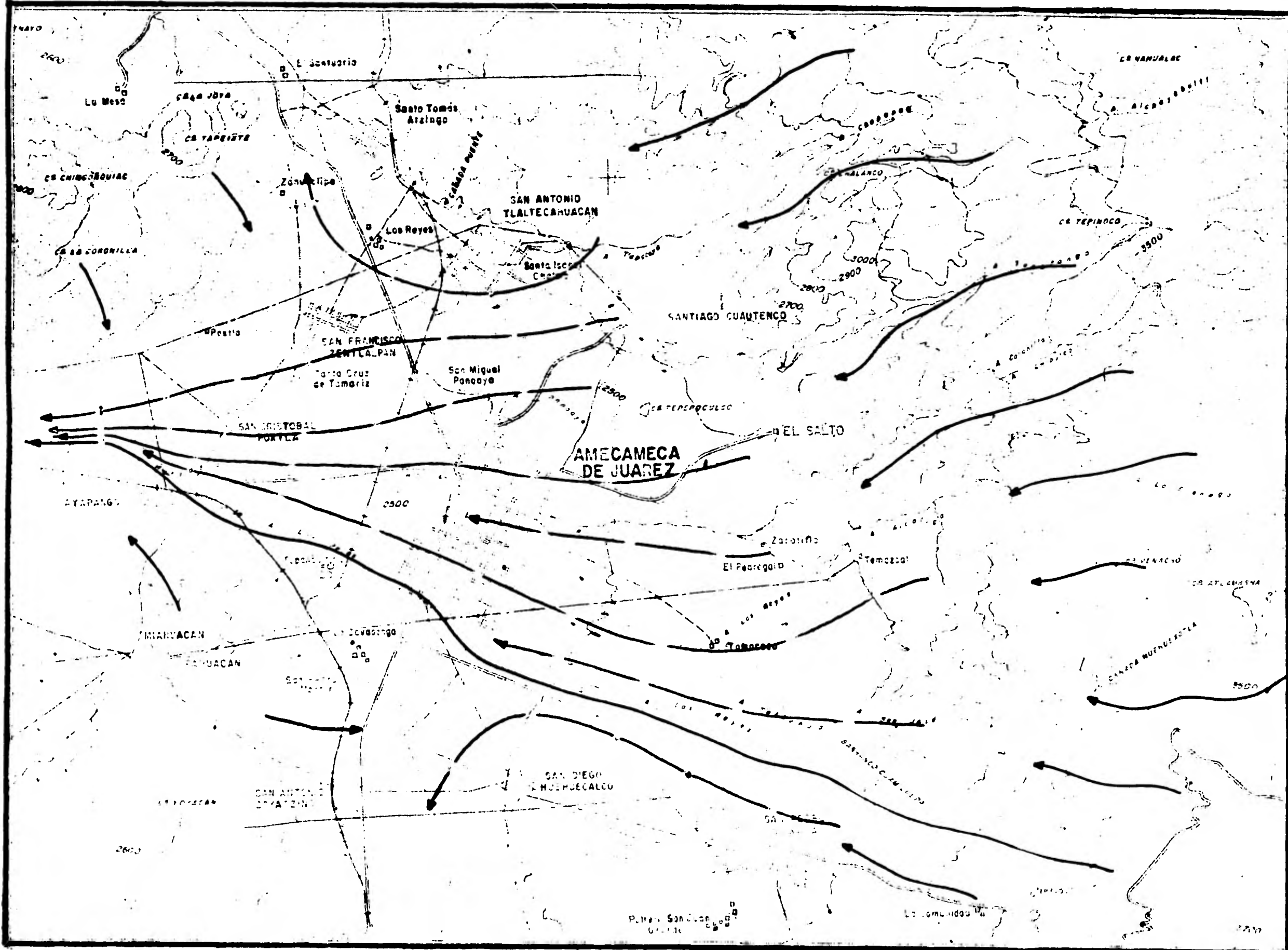


Fig. - 8.4



TESIS PROFESIONAL

EXPLICACION

LINEAS DE FLUJO:

- SUPERFICIALES** ———
- SUBTERRANEAS** ———

CROQUIS DE FUNCIONAMIENTO

FIG. 08

BIBLIOGRAFIA.

- CASTANY, G. Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas. Barcelona, Ediciones Omega, S. A. 1971.
- DEL CASTILLO GARCIA, Luis. Evaluación de los Recursos Acuíferos del Valle de Amecameca. Tesis. Ing. Geólogo, ESIA, IPN; 1959.
- DOMENICO, Patrick A. Concepts and Models in Groundwater Hydrology. New York, Mc Graw - Hill Book C. 1972.
- ESPINOSA AMADOR, José. Estudio Hidrogeológico de una Porción de la Vertiente Occidental del Iztaccihuatl, Municipio de Tlalmanalco, Edo. de México. Tesis. Ing. Geólogo, Fac. Ingeniería, UNAM. 1971.
- FREEZE, R.A.Y. CHERRY, John A. Groundwater. New Jersey, Prentice - Hall. 1979.
- FRIES, Carl Jr. Geología del Edo. de Morelos y de Partes Adyacentes de México y Guerrero, Región Central Meridional de México, Instituto de Geología, UNAM. Boletín No. 60. 1960.
- KRAUSKOPF, K.B. Introduction to Geochemistry. New York, Mc Graw - Hill B.C. 1967.
- LOPEZ RAMOS, Ernesto. Geología de México, Tomo III, México 1979.
- TAMAYO, Jorge L. Geografía General de México, Tomo I. México Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas, 1962.
- ZUBIZARRETA G., Armando F. La Aventura del Trabajo Intelectual. México - Sud América, Fondo Educativo Interamericano, S. A. 1969.
- S.A.H.O.P., SUBSECRETARIA DE BIENES INMUEBLES Y OBRAS URBANAS DIRECCIONES GENERAL DE CONSTRUCCION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. SUBDIRECCION DE PROYECTOS. Estudio de Fuentes de Abastecimiento para Amecameca, Méx.

Realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S. A. México, 1979.