

## ESTUDIOS GEOQUIMICOS, GEOFISICOS Y GEOLOGICOS DE LA SUBCUENCA DE CHALCO, MEX.\*

*Rafael Molina Berbey*\*\*

### A.—ESTUDIOS GEOLOGICOS.

#### 1.—*Situación geográfica.*

La subcuenca de Chalco, Méx., se encuentra situada geográficamente entre las longitudes Este 19 y 50 y las latitudes Sur 7 y 30 con referencias a la Catedral de la Ciudad de México y de acuerdo con la Carta Geográfica del Valle de México, publicada por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en el año de 1948 en la Revista de Ingeniería Hidráulica Vol. II, No. I y del Sr. Ing. Angel Borja Osorno. El área de esta subcuenca de Chalco es de 1463 Km<sup>2</sup>.

#### 2.—*Fisiografía.*

La subcuenca de Chalco, fisiográficamente queda limitada por los siguientes puntos: Al Este por la Sierra Nevada, al Poniente por los cerros La Caldera, Xico y Dos Cerros. Al Norte, por las estribaciones de la Sierra Nevada, cerro Pino y cerro La Caldera: Al Sur, por los cerros, Dos Cerros, Xoyocán y Volcán Popocatepetl.

En la parte media de esta subcuenca de Chalco, se encuentra el antiguo vaso del Lago de Chalco, y corresponde fisiográficamente a la planicie lacustre a la cual llegaban los ríos de Ameca, Tlalmanalco o de la Compañía.

Esta planicie lacustre, se encuentra dividida en dos partes y son: Parte Norte y Parte Sur.

La Parte Norte, está limitada por los siguientes puntos: Cerro La Caldera, Pueblo de Ayotla, Pueblo de Ixtapaluca, Pueblo de San Marcos, Pueblo de Chalco, Cerro Xico y Cerro La Caldera.

\* Original recibido en marzo de 1956.

\*\* Geoquímico, Departamento del Distrito Federal.

La parte Sur, está limitada por los siguientes puntos: Cerro Xico, Pueblo de Chalco, Pueblo de San Martín, Pueblo de Cocotitlán, Tamantla, Los Reyes, Ex Hda. Asunción, Ayotzingo y Cerro Xico.

El valle de Ameca está formado por los cerros, Dos Cerros y Tezayo. El río de Ameca nace en la parte sur del Ixtaccihuatl.

El valle del Río de Tlalmanalco o de la Compañía, se encuentra formado por el cerro Tenayotl y los basaltos de Tlalmanalco.

El valle de San Francisco, está formado por las estribaciones Orientales del Cerro Pino y las estribaciones Occidentales, de la Sierra Nevada.

### 3. -Hidrología.

La Hidrología de la subcuenca de Chalco, es muy sencilla y está formada por los ríos: San Francisco al Norte, el río de Tlalmanalco o de la Compañía, al Este, y por el Sureste el río de Ameca. Todos estos ríos desembocaban al antiguo Lago de Chalco, el área de este Lago antiguamente era de 5.98 leguas cuadradas (60 Km<sup>2</sup> aproximadamente) y que actualmente se encuentra seco.

Río de Tlalmanalco; este río tiene aguas permanentes, pero con pequeño caudal, nace en las estribaciones occidentales del Ixtaccihuatl, en un lugar llamado Nahualac, sigue por la barranca del Negro, pasando cerca de San Rafael, San Juan Tlalmanalco, Miraflores y canalizado pasa cerca del Moral, Ex Hda. La Compañía y San Lucas, de aquí sigue por la base del cerro de Tlapacoya hasta Tlapizahua y de este lugar es conducido artificialmente al Lago de Texcoco.

Los afluentes principales de este río, se encuentran en la margen derecha y descienden de la Sierra Nevada y son los siguientes: Huexoculco, que se encuentra a 0.2 Km. al W. de la Ex Hda. La Compañía y a una altura de 2275 metros, Cuautlaplan o San Martín que tiene varios tributarios entre los cuales está el Pinahua, cuya confluencia se encuentra a unos 5.6 Km., al N.E. de Cuautlalpan, cerca de San Lucas, y a 2256 metros de altitud; el Buenavista que es de poco recorrido; nace en el origen del talweg entre los cerros

Telapón y Papayo y se reúne canalizando a unos 2.5 Km. al N.E. de Chalco, en el puente de la Carretera México-Cuautla, antes de llegar al pueblo de Chalco, a una altitud de 2250 metros; el San Francisco que nace cerca de San Francisco Acuahuatla y canalizado corre al mismo punto de confluencia del Buenavista.

Río Ameca; este río es de bastante desarrollo, tiene numerosos afluentes y régimen permanente, aunque no caudal considerable. Nace en la barranca de unión del Ixtaccihuatl con el Popocatepetl, cerca de la cresta de la sierra en el puerto Pela Gallinas, a unos 3,700 metros de altitud. Pasa por Tetepexinac, Apapaxtla, Paraje, Palo Rechinador, Cueva del Negro, Mata Liebre, muy cerca de Temacoco, Ladrillesco, Cruz de Tezahue, Los Reyes, al pie de las faldas S. del Sacramonte de Amecameca, Ayapango, cerca de Tepanacasco por el plan de Retama, cerca de Tlamapan, Atempilla, Santa María Tepopula, Tenango del Aire, Santa Bárbara, Olivar y Temamatla, donde desemboca en la planicie de Chalco.

Desde su nacimiento hasta Ladrillesco, desciende por las faldas de la Sierra Nevada; a partir de Ladrillesco hasta cerca de Amecameca, constituye la línea de separación de los sistemas montañosos hasta Tenango del Aire, separa los lomeríos del Tezayo al N. y el Coatepetl al S. y desde Tenango del Aire hasta cerca de Temamatla fluye entre las elevaciones del Tenayo al E. y del Zilcuayo, en su ramal Dos Cerros y Yaqueme, al N.

Los afluentes finales que descienden también de la Sierra Nevada y que se unen al Río de Ameca, por la margen derecha son los siguientes: Amalacaxco, que entronca cerca de Tomacoco; Alcalica que nace por Macuileca y llega cerca de Cruz del Tezahue; Ayolocotl, uno de los más importantes con numerosos tributarios y que nacen al pie de las nieves del Ixtaccihuatl, en Ayolocotl, pasa por la población de Amecameca y se reúnen cerca de Ayapango, al arroyo principal y el Penoya que nace de las nieves del Ixtaccihuatl en Nahualaque, recibiendo un tributario cerca de Tamariz, teniendo su confluencia cerca de Ayapango.

Por la margen izquierda se reúnen al arroyo de Ameca los afluentes de Ameyalco, Palo Rechinador, Providencial y Xalpatlaco, que descienden del Popocatepetl, estos arroyos son torrenciales y de muy corto recorrido, excepto el Xalpatlaco, que pasa cerca de La-

drillesco; aguas abajo y cerca de Tenango del Aire, llegan al río de Ameca las barranquillas que descienden de las faldas del Coatépétl, Amolo y Tlalcorra y así mismo, las cañadas Cuatlaco y Zopilocalco

Los límites del vaso del Lago de Chalco son: Al Norte el Pueblo de Tlalpizahuac, Ayotla, Ex Hda. de Santa Bárbara, Ixtapaluca y San Marcos. Al Este por los pueblos, San Lucas, Cuatzingo y Cocotitlán. Al Sur por los pueblos, Temamatla, Los Reyes, Ex Hda. Asunción, San Pablo, Ayotzingo y Mixquic. Al Poniente San Juan Ixtayapan, Pláhuac, Tlaltenco y Sierra Sta. Catarina.

#### 4.—*Datos Hidrológicos de interés.*

La subcuenca de Chalco tiene un área de 1463.5 Km<sup>2</sup>. y en ella caen 850 mm. de precipitación pluvial media anual, es decir llueven en esta subcuenca 1284 millones de M<sup>3</sup>. (40 M<sup>3</sup>/seg.). Se evaporan (tomando el 75%) 903 millones de M<sup>3</sup>. y (tomando el 50%) 642 millones de M<sup>3</sup>. Escurren por los ríos y arroyos (tomando el 15%) 193 millones de M<sup>3</sup>. y (tomando el 20%) 257 millones de M<sup>3</sup>. Se infiltran por las tobas detríticas y basaltos (tomando el 10%) 128 millones de M<sup>3</sup>. y (tomando el 30%) 385 millones de M<sup>3</sup>.

De acuerdo con lo anterior tendremos un gasto de:

**T A B L A 1**

Precipitación M <sup>3</sup> /seg.	Escurrimento M <sup>3</sup> /seg.		Escurrimento M <sup>3</sup> /seg.		Escurrimento M <sup>3</sup> /seg.	
	75%	50%	15%	20%	10%	30%
40	30	22	6	8	4	10

Por la tabla anterior, se puede ver que en condiciones pésimas de infiltración tendremos un gasto de 4 M<sup>3</sup>./seg., máximo. Ahora bien, por los estudios y proyectos que existen, hay la idea de extraer 3 M<sup>3</sup>./seg. de esta subcuenca de Chalco.

Actualmente existen en la subcuenca de Chalco, cerca de 150 pozos, de los cuales solamente 57 han sido geoquímicamente estudiados y el gasto total es de 1300 lts/seg. La profundidad mínima

de estos pozos es de 45 mts. y la máxima es de 150 mts. El nivel estático tiene diferentes profundidades y este nivel depende de la acotación a que se encuentra el brocal del pozo, siendo el nivel estático mínimo de 3 mts. y el máximo 40 mts.

Lo mismo hay que anotar, que, los acuíferos subterráneos de la subcuenca de Chalco, obedecen a dos comportamientos hidrológicos distintos, los cuales han quedado perfectamente diferenciados por los estudios geoquímicos.

### 5.—*Rocas.*

La constitución geológica de la subcuenca de Chalco, esta formada por pirogénicas, piroclásticas e hidroclásticas. Plano N° 1. Entre las primeras consideramos a las andesitas, dacitas, riolitas, latitas y basaltos; entre las segundas a las brechas, tobas, aglomerados, arenas y cenizas volcánicas de naturaleza andesítica, riolítica y basáltica, y en las últimas una gran variedad de arcillas, limos, areniscas, conglomerados, brechas, tilitas, arenas, gravas, aluviones y suelos.

Las rocas pirogénicas y las piroclásticas están asociadas particularmente por las de igual origen, es decir, las andesíticas, riolíticas, etc., en la formación de las montañas. Las rocas hidroclásticas constituyen el relleno de la subcuenca y están asociadas con algunas piroclásticas y en menor escala con algunas pirogénicas; principalmente con las basálticas.

Las andesitas que existen en esta subcuenca de Chalco, son de colores variados; grisáceos, verdosos, rosados y azulados. Su textura es generalmente porfirítica, la que se encuentra en todas las especies de andesitas. No entraré en detalles acerca de las variedades de esta roca.

La andesita de hiperstena, se encuentra en el cerro de Tlapacoya y principalmente en el Ixtaccihuatl (Cabeza, Pecho y Pies).

También en los cerros Papayo y Telapón se observan algunas corrientes de Andesitas de hiperstena y Andesita de hiperstena con augita.

El basalto es otra de las rocas efusivas comunes en esta subcuenca, como se puede observar en la Sierra de Santa Catarina, en

la cual se encuentra la serie Basalto de olivino, Andesita-basalto y Andesita de hiperstena con algo de augita.

Al Sur de esta subcuenca, en los cerros Tenayotl, Tesoyoc y en el Cerro Xoyocán se encuentra Basalto de olivino y Andesita-basalto.

En la parte Norte, en el cerro Pino y Tejocote, se encuentran corrientes de Basalto de olivino y andesita-basalto.

Las rocas sedimentarias que existen en esta subcuenca son de origen hidroclásico y piroclástico.

*Rocas piroclásticas.*—Estas rocas abarcan toda la parte poniente de la Sierra Nevada y la parte sur de cerro Pino. Este tipo de roca sedimentaria está caracterizado por contener principalmente polvo y cenizas de origen volcánico, que actualmente se encuentran muy alteradas a suelos. El espesor de este material varía de 1 a 5 metros, es de color café o café rojizo (formación Tacubaya).

*Rocas hidroclásticas.*—Este tipo de roca se localiza en la parte inferior de la Sierra Nevada y en las estribaciones sur de los cerros Papayo, Telapón y Pino.

Este material pluvial está formado principalmente por arenas y gravas que han acarreado las avenidas de los ríos y aguas broncas que bajan de los cerros por barrancas aún no perfectamente formadas. Este material se encuentra descansando en la parte inferior del material Eólico (piroclástico), salvo en algunos lugares en los cuales se observa en la parte superior.

Existe otro tipo de roca hidroclástica y son las de origen lacustre. Este tipo de roca se encuentra en la parte baja de esta subcuenca y forma el lecho de lo que fué el Lago de Chalco. Los componentes principales de este tipo de roca son: arcillas, limos, arenas, y gravas intercaladas.

La zona turbera de Chalco, se encuentra limitada al Norte por el pueblo de Tlaltenco, al Poniente por el pueblo de Tláhuac, al Sureste por el pueblo de Chalco y al sur por el cerro Xico.

En el rancho Wilde, se encontró la turba a los 40 metros de profundidad, en este pozo hay gran cantidad de desprendimiento de gas metano.

#### 6.—*Geología Estructural.*

La geología estructural de esta subcuenca esta representada, en la superficie, por rocas ígneas efusivas y por rocas sedimentarias, tal

como se trató en el capítulo correspondiente a rocas.

Para mejor comprender la situación geográfica de cada uno de estos materiales en la superficie, se construyó el Plano No. 1. en el cual, se encuentran marcados siete ejes de orientación que corresponden a los siete perfiles geológicos que se encuentran al lado derecho de este plano.

Los perfiles geológicos indican la situación de cada uno de los tipos de roca sedimentaria que existen a profundidad en esta subcuenca de Chalco. Estos perfiles Geológicos fueron construidos teniendo en cuenta los cortes geológicos de los pozos existentes.

Como se puede ver por medio de los perfiles geológicos, en esta subcuenca de Chalco, tenemos una serie de sedimentos cuya estratificación, en ciertos lugares es concordante, principalmente en lo que fué la parte central del Lago de Chalco, con una capa espesa de turba, como puede verse en los perfiles A-B y M-N.

En el perfil C-D se puede ver que ha sido localizada una falla a profundidad entre los 50 y los 75 metros, al E. SE. del cerro Xico. La presencia de esta falla fué deducida de la interpretación geoquímica del Boro, existente en las aguas subterráneas de esta parte de la subcuenca de Chalco. Esta misma falla se encuentra en el perfil E-F, al SE. de Xico y también a la profundidad de 50 y 75 metros.

En la parte N. de la subcuenca de Chalco, se encuentra otra falla localizada en el perfil M-N, cerca del puerto geográfico, que existe entre el cerro La Caldera y el cerro Pino en el lugar llamado Tlapizahua.

Un dato de bastante interés es el que se tiene en el perfil G-H (entre el cerro Cocotilán y el pueblo de San Martín Cuauhtlalpan) nos señala que entre estos puntos se encuentra una antigua barranca que probablemente es la continuación de la barranca de San Rafael y que actualmente está cubierta por material de acarreo pluvial.

Estos perfiles geológicos demuestran gráficamente cuál es la geología estructural de esta Subcuenca de Chalco, Plano No. 1.

#### 7.—*Geología Histórica.*

Las rocas ígneas efusivas de Ixtaccihuatl, y parte de los cerros que forman la Sierra Nevada son consideradas, por algunos geólogos, de edad Mioceno.

El material piroclástico depositado por el viento, de color café e café rojizo corresponde al piso Tacubaya, el cual se encuentra formando parte de los sedimentos en las estribaciones Poniente del Ixtaccihuatl con límite en los cerros cercanos a Tlalmanalco y Amecameca.

Este mismo piso se observa en el cerro de Cocotitlán, abajo de la formación Becerra, la cual esta compuesta de un material color café grisáceo con fragmentos de basalto.

En resumen la Geología Histórica de la Subcuenca de Chalco, queda indicada en el cuadro siguiente:

**CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LA  
SUBCUENCA DE CHALCO, MEX.**

**CUADRO No. 1**

ERA	PERIODO	PISOS
C E N O Z O I C O.	RECIENTE	Azteca y Teotihuacano Zacatenco? Totolzingo? Barrilaco?
	Hundimiento en esta parte de la Cuenca?	
	PLIESTOCENO	Becerra
		Hundimiento?
		Morales? Tacubaya
	Discordancia	
MIOCENO	Sierra Nevada (andesita de Hiperstena)	



## B.—ESTUDIOS GEOFISICOS.

En el año de 1952, la Dirección General de Geología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, emprendió una serie de estudios geofísicos, en la Subcuenca de Chalco. El método usado fue el eléctrico en el cual se empleó un equipo eléctrico GishRoone.

De este informe se ha entre sacado la siguiente:

En la zona S. W. de Chalco, se ha localizado una zona probablemente rica en aguas subterráneas. Esta zona se localiza al Sur de los Reyes y San Pablo.

Las estructuras hidrológicas de las cuales se obtendrá mayor cantidad de agua son: el basalto, el cual por ser de permeabilidad localizada, favorece mucho la acumulación de aguas subterráneas en dicho lugar. Los aluviones antiguos y arenas de grano grueso, materiales que por ser muy permeables facilitan también la acumulación de las aguas en el subsuelo.

El límite inferior de estos acuíferos, está formado por estratos impermeables de arcilla.

Otro de los estudios geofísicos efectuados en esta parte de la Cuenca de México, son los ejecutados por el Instituto Nacional para la Investigación Científica y consisten en las medidas gravimétricas ejecutadas con el fin de poder saber como está constituido el complejo basal de la Cuenca del Valle de México, Plano No. 2.

Las anomalías gravimétricas en la parte Sureste de la Cuenca del Valle de México, nos indican lo siguiente:

Que el gradiente mínimo gravimétrico es de 140 miligals, se encuentra cerca de Chalco, e indica que en este lugar existe una depresión con una profundidad mayor de los 500 metros, la dirección de ésta es, de Poniente a Oriente.

Los valores máximos gravimétricos son: al N. de 200 miligals.

y al S. de 290 miligals y en el centro 140 miligals. Indicando ésto que el flujo de las aguas subterráneas es de N. al centro y del S. al centro. Por estas características geofísicas podemos deducir que la subcuenca de Chalco, puede ser una zona adecuada para extracción de aguas subterráneas y éstas ser usadas en el abastecimiento de agua en la Ciudad de México. Otro de los puntos principales, es que, nos indica, la total independencía de esta subcuenca con la de Xochimilco y con la de Texcoco.

### C.—ESTUDIOS GEOQUIMICOS.

En el año de 1950, los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial y el Instituto de Investigación Científica, iniciaron investigaciones geoquímicas de las aguas subterráneas en la subcuenca de Chalco, con el fin de saber cual era la composición química y el comportamiento geológico de las mismas.

Los estudios geoquímicos efectuados en la subcuenca de Chalco son los siguientes:

#### 1.—*Interpretación geoquímica de los análisis químicos de las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco, Méx.*

La interpretación geoquímica de los análisis químicos de las aguas subterráneas que existen en la subcuenca de Chalco, nos indican, que hay dos clases geoquímicas de aguas y éstas son; las Clases I y III, de Chase Palmer.

La Clase I, se encuentra distribuída principalmente en la parte baja de la subcuenca de Chalco, lo cual indica la íntima relación que existe entre la petrología y petroquímica de los sedimentos lacustres con la composición química de las aguas que circulan por ellas. ..

La Clase III, se encuentra repartida y relacionada más íntimamente con las rocas sedimentarias de origen piroclástico, depositadas en la ladera de las montañas, estas aguas subterráneas adquieren características químicas especiales en su composición y las hacen diferentes de otras aguas.

El origen de estas aguas es meteórico, y al infiltrarse ha dado origen a estas dos clases de agua, que a su vez y a profundidad se mezclan parcialmente con aguas de origen magmático.

La distribución de estas dos clases de aguas, y las curvas de iso-temperatura se encuentran en el Plano No. 3. ..

2.—*Distribución geoquímica del zinc en las aguas subterráneas, de la subcuenca de Chalco, Méx.*

Del estudio geoquímico efectuado sobre la distribución geoquímica de los metales pesados contenidos en pequeña cantidad en el agua, se encontró que el metal más constante es el Zinc. ..

Después de una serie de análisis cuantitativos y la interpretación de estos, se encontró que el metal Zinc, por medio de su distribución geoquímica, nos puede indicar cual es la probable circulación de un acuífero y así mismo la relación que existe entre uno o más acuíferos o la total independencia de éstos.

Con los datos obtenidos del contenido de Zinc en las aguas subterráneas de la Subcuenca de Chalco, se construyeron las curvas iso-zinc, que se encuentran en el Plano No. 4.

La interpretación geoquímica de estas curvas, nos indica, que en la parte Norte de la subcuenca de Chalco se encuentra mayor concentración de zinc y que esta concentración va disminuyendo hacia el sur hasta llegar a tener O/gamas/L de zinc. El límite geográfico de esta mínima, es el cerro de Tlapacoya, Plano No. 4.

Hacia el Sur y Sureste de Chalco, se observa otro agrupamiento de curvas iso-zinc, de acuerdo con la forma de estas curvas, se deduce que en esta parte de la subcuenca de Chalco, existe otra zona en la cual el comportamiento hidráulico es distinto con respecto al observado en el norte de esta subcuenca. ..

La curva O/gamas/L de zinc, que se observa en la parte Sur y Sureste nos esta indicando que en esta parte existe un acuífero cuyo origen es, la infiltración de aguas del deshielo de las nieves del Ixtaccihuatl, Plano No. 4.

Para mejor comprender la distribución geoquímica del zinc en las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco, se construyó el siguiente Cuadro No. 2.

## C U A D R O N º 2

### DISTRIBUCION GEOQUIMICA DEL ZINC EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA CUENCA DE CHALCO, MEX.

Origen del Agua	Materiales por donde circulan las aguas.	Contenido de zinc, gamas/L.
<p>Aguas Meteóricas (deshielo) infiltración no mezcladas con aguas de origen magmático</p>	<p>Productos piroclásicos de acarreo de origen andesítico con hornblenda o hiperstena.</p> <p>Ejemplo.—Estribaciones poniente de la Sierra Nevada (Ixtaccihuatl). La profundidad de los pozos es de 80 a 100 mts. Estos pozos se encuentran alejados de zonas mineralizadas y de grietas o fallas profundas. Las aguas circulan por material perfectamente estratificado.</p>	<p>0 a 10</p>
<p>Aguas Metóricas (lluvias) infiltración mezcladas parcialmente con aguas de origen magmático.</p>	<p>Productos piroclásicos de origen basáltico, en contacto con material ígneo de reciente emisión.</p> <p>Ejemplo.—Zona Norte de la subcuenca de Chalco y cerca de fallas o grietas a profundidad: Profundidad de los pozos de 80 a 100 mts.</p>	<p>11 a más de 60</p>

*Conclusiones:*

a.—La cantidad de zinc que tienen las aguas subterráneas que existen en la subcuenca de Chalco, y asimismo la distribución de estas cantidades, nos indica, que en esta subcuenca, existen dos entidades hidrológicas de comportamiento distinto.

b.—La curva 0 al 10 gamas/L que se encuentra en la parte Sur y Sureste de Chalco, geoquímicamente nos indica que el agua subterránea que circula en esta zona es totalmente de origen meteórico (deshielo) y que esta infiltración esta gobernada por un camino subterráneo de circulación perfectamente definida.

3.—*Distribución geoquímica del Boro en las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco, Méx.*

Otro de los elementos químicos que existen en pequeña cantidad en las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco, es el Boro.

Este elemento geoquímicamente ha sido considerado como elemento índice de profundidad, ya que el comportamiento químico de este elemento es el de quedar como un producto geoquímico de diferenciación final de un magma, en forma de un compuesto químico cuyo equilibrio es estable, es decir, en su máximo grado de oxidación.

Los minerales ricos en Boro son: la turmalina, la cual solamente se encuentra en rocas ricas en sílice, tales como el granito, sienita y dioritas y más abundante en las pegmatitas.

Lo mismo se encuentra en forma de Boratos en las fumarolas (Italia, Estados Unidos, México, etc.) que en las aguas termales o no termales que existen cerca de fallas o fracturas profundas.

Asimismo la asociación del Boro y el Amonio en las zonas volcánicas, nos indica la gran relación que existe entre estos dos elementos en los procesos tectónicos.

Ahora bien, de acuerdo con lo anterior, geoquímicamente el Boro nos indica por medio de su distribución, en las aguas subterráneas, la probable forma que tiene una falla o fractura a profundidad.

De acuerdo con el contenido de Boro en las aguas subterráneas de la subcuenca de Chalco, se construyó el Plano No. 5 en la cual se encuentran las curvas iso-boro, dadas en gamas/L.

Para una mejor aplicación de esta distribución se construyó el Cuadro No. 3.

### C U A D R O 3

#### DISTRIBUCION GEOQUIMICA DEL BORO EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE LA SUBCUENCA DE CHALCO, MEX.

Origen del Agua	Materiales por donde circulan las aguas.	Contenido de Boro gamas/L.
<p>Aguas Meteóricas (deshielo) infiltración no mezcladas con aguas de origen magmático.</p>	<p>Productos de acarreo de origen andesítico con hornblenda o hiperstena. Ejemplo.—Estribaciones poniente de la Sierra Nevada (Ixtaccihuatl). La profundidad de los pozos, es de 80 a 100 metros. Estos pozos se encuentran alejados de zonas mineralizadas y de grietas o fallas profundas. Las aguas circulan por material perfectamente estratificado.</p>	<p style="text-align: center;">0 a 3</p>
<p>Aguas Meteóricas (lluvias) infiltración mezcladas parcialmente con aguas de origen magmático.</p>	<p>Productos piroclásticos de origen basáltico en contacto con material ígneo de reciente emisión. Ejemplo.—Zona norte de la subcuenca de Chalco, cerca de grietas o fallas profundas. La profundidad de los pozos es de 80 a 100 metros.</p>	<p style="text-align: center;">4 a más de 100</p>

*Conclusiones:*

a.—La parte Norte de la subcuenca de Chalco, tiene un alto contenido de Boro, e indica que en este lugar existe una grieta o falla a profundidad, por la cual asciende el agua magmática y contamina un gran volumen de aguas meteóricas (lluvias que se infiltran hasta profundidad).

b.—En la parte Sur y Sureste de Chalco, las aguas subterráneas no contienen Boro, y ésto, indica que las aguas subterráneas que existen en esta zona, son en su totalidad de origen meteórico (deshielos).

c.—En la parte central de Chalco y cerca del cerro Xico existen curvas de iso-boro que varían de 0 a 43 gamas/L., el aumento de boro, se debe principalmente a una acumulación de este elemento, efectuado por las plantas que actualmente forman el turbal y que se encuentra en proceso de carbonización; pero a la vez nos indica una grieta o falla que se encuentra cerca y a profundidad, por la cual ascienden aguas magmáticas.

4.—*Conclusiones geoquímicas con respecto al origen de las aguas subterráneas en la subcuenca de Chalco.*

De acuerdo con los puntos anteriormente indicados, se llega a las siguientes conclusiones con respecto al origen de las aguas subterráneas de esta parte de la cuenca del Valle de México.

Las aguas subterráneas por lo general en esta subcuenca de Chalco, son de origen meteórico. En la parte Norte, son aguas de lluvia que se infiltran hasta profundidad, estas aguas a profundidad se ponen en contacto con aguas magmáticas que ascienden a la superficie o muy cerca de ella. Asimismo, estas aguas al infiltrarse y llegar a profundidad se ponen en contacto con rocas aún calientes y sufren un aumento de temperatura.

El acuífero de la parte Norte de Chalco, se encuentra localizado a los 60 y 100 metros de profundidad, con una probable circulación de N.E. a S.W., esta circulación está limitada por el cerro Pino al Norte y por el cerro de Tlapacoya al Sur. Plano No. 5.

El material sedimentario por el cual circula este acuífero, esta formado por capas de arcillas y arenas no perfectamente estratificadas. Por tal motivo debe de considerarse que este acuífero comienza desde los 5 metros hasta los 100 metros, teniendo en cuenta que las

características geoquímicas de las aguas a distinto nivel, son iguales, Planos Nos. 1 y 5.

En la parte Sur y Sureste de la subcuenca de Chalco, el acuífero tiene como origen las aguas que se infiltran procedentes de los deshielos de las nieves del Ixtaccihuatl, Planos Nos. 1 y 5.

Estas aguas al infiltrarse por entre capas de material cinerítico y de acarreo, que se encuentra en la estribación Poniente del Ixtaccihuatl, dan origen a un tipo especial de acuífero, que circula con rumbo Poniente para después cambiar su rumbo al Sureste, buscando de este modo salida hacia el valle de Cuautla, Mor. Plano No. 5.

Las aguas de este acuífero tienen temperaturas de 17 a 18°C. con un contenido de Boro de 0 Gamas/L. y un contenido de Zinc de 0 a 10 gamas/L. Planos Nos. 3, 4 y 5.

#### D.—ESTUDIOS PIEZOMETRICOS.

En la subcuenca de Chalco, no han sido perforados pozos para establecer estaciones piezométricas. Tengo noticias que en la Fábrica Ayotla Textil, existe un pozo para lecturas piezométricas; pero este dato no lo he confirmado.

De acuerdo con los estudios piezométricos efectuados por I.C.A. y continuados por la C.H.C.V.M. en la subcuencas de la Ciudad de México y de Texcoco, se observa que las presiones de los acuíferos que existen en la subcuenca de la Ciudad de México, han sufrido una fuerte pérdida de carga, en cambio en la subcuenca de Texcoco, se observa carga que dá origen al artesianismo que existe en esta parte de la Cuenca del Valle de México.

En la subcuenca de Chalco, aunque no hay estaciones piezométricas, existe presión en los acuíferos subterráneos. Por tal motivo esta subcuenca de Chalco, debe de ser considerada como una zona de reserva de agua para surtir de este líquido a la Ciudad de México.

Y asimismo, desde el punto de vista piezométrico, esta subcuenca de Chalco, debe de ser considerada independiente de la subcuencas de Xochimilco, Texcoco y Ciudad de México.



E.—COORDINACION DE LOS ESTUDIOS ANTERIORES CON EL PROYECTO “CHALCO” Y “ALTO AMACUZAC” DEL SR. ING. JOSE S. NORIEGA.

a.—El proyecto del Ing. José S. Noriega, consiste en un sistema de canales que interceptan las aguas que escurren, arriba de la cota 2450 mts., en la parte sur del Volcán del Popocatepetl y en la parte Sur del Ajusco y Sierra del Cuautzin.

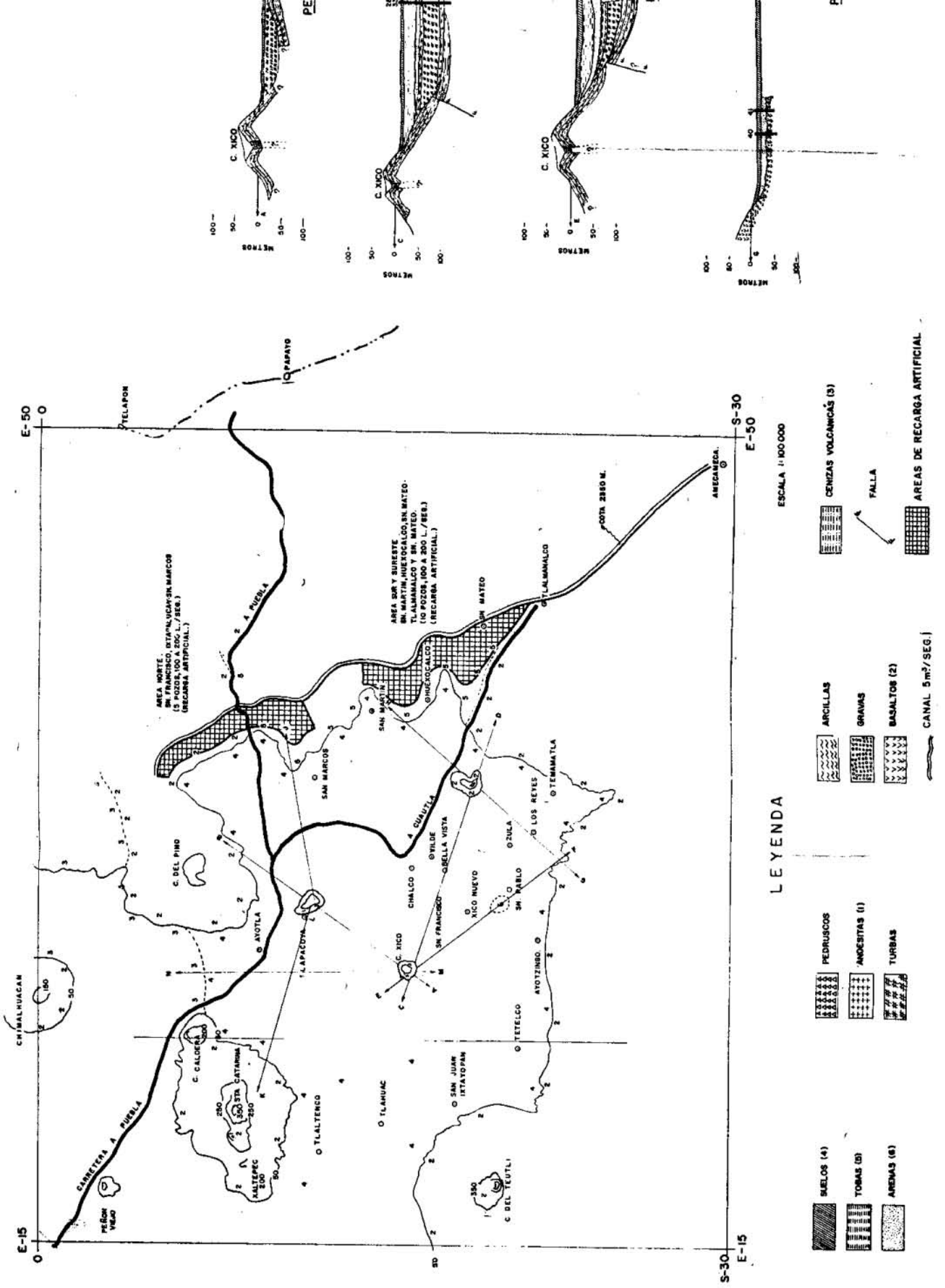
Estos canales son: el canal 3, que se encuentra en la parte Sur del Ajusco y de la Sierra del Cuautzin, a 2450 mts. de altitud en la cuenca de Alto Amacuzac, este canal tendrá, una longitud de 50 Km., y la cuenca tributaria será de 263 Km<sup>2</sup>., el volumen anual será de  $98.6 \times 10^6$  M<sup>3</sup>. (3 M<sup>3</sup>/seg.) y el volumen aprovechable para la Ciudad de México será de 2 M<sup>3</sup>/seg.

El canal 4, se encuentra localizado a 2450 mts., de altitud y en la parte sur del Volcán Popocatepetl, este canal tiene una cuenca tributaria de 244.5 Km<sup>2</sup>. que dá  $244.5 \times 10^6$  M<sup>3</sup> anuales (8 M<sup>3</sup>/seg.), con una longitud de 80 Km. y el gasto aprovechable para la Ciudad de México será de 5 M<sup>3</sup>/seg.

Estos dos canales deben de llegar a la Cuenca del Valle de México por el puerto que existe en Amecameca y de aquí en adelante no existe proyecto de localización para continuar el canal hacia a las zonas en que se hará la recarga artificial de los acuíferos (pág. 4 Coordinación de los proyectos “Chalco” y “Alto Amacuzac”, del Ing. José S. Noriega 10 Sep. 1955).

Ahora bien, se trata de hacer una ampliación del anterior proyecto, el cual consiste en prolongar el canal que llega a Amecameca hasta los siguientes pueblos, Tlalmanalco, San Mateo, Huesoçalco y San Martín Cuauhtlalpan, siguiendo una cota inferior a la indicada para los canales en la parte Sur. La cota más probable dentro de la Cuenca del Valle de México, será la de 2335 mts.; la profundidad de los pozos será de 150 a 200 metros, con el fin de tener suficiente carga al infiltrar el agua procedente de los canales.

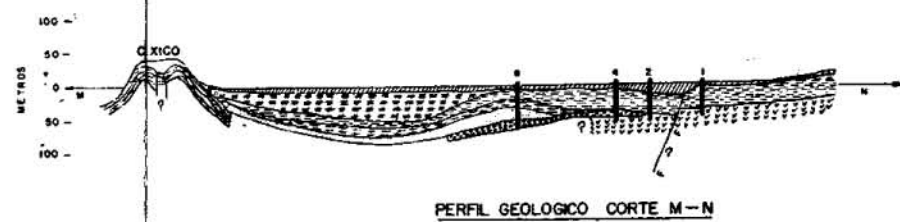
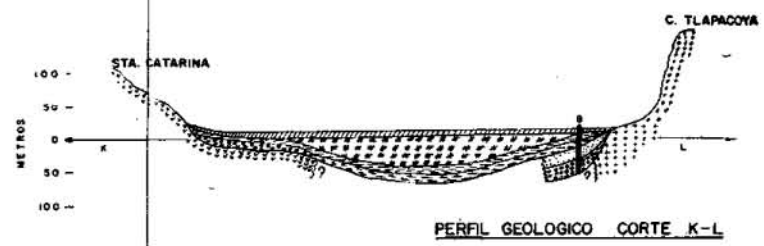
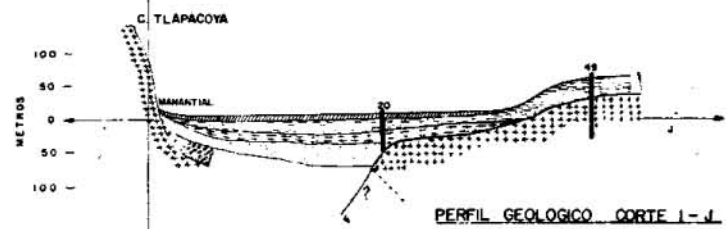
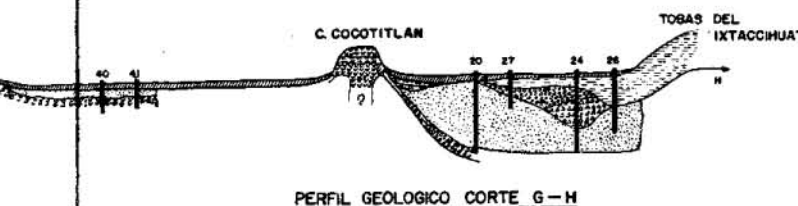
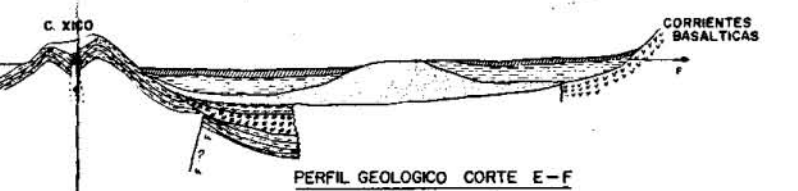
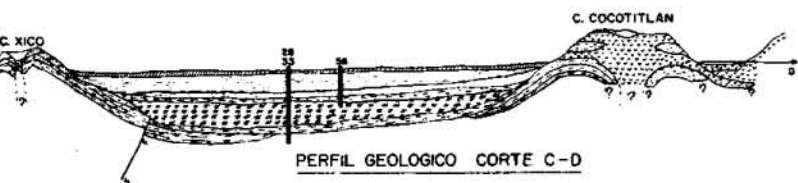
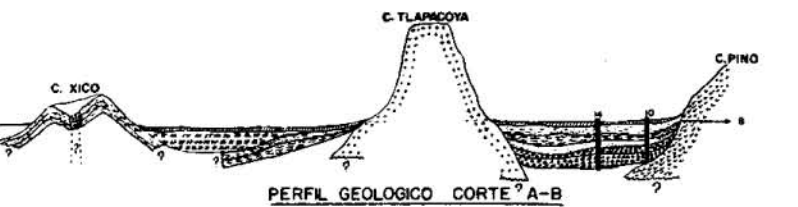
La prlongación del canal y la localización de los lugares de in-



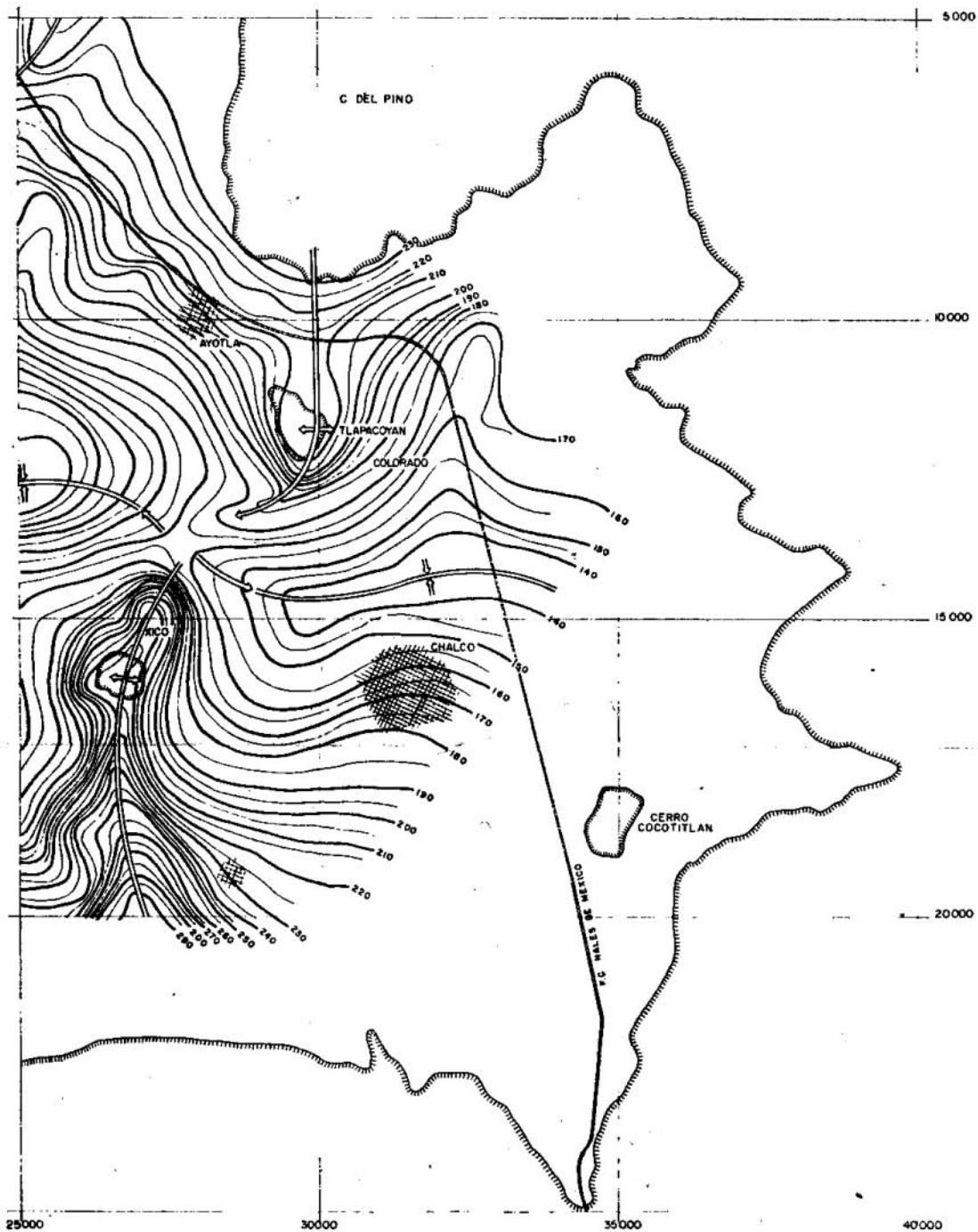
LEYENDA

- MUECOS (4)
- PEDRUSCOS
- ARCILLAS
- CENIZAS VOLCANICAS (3)
- TOMOS (1)
- GRAMAS
- FALLA
- AREAS DE RECARGA ARTIFICIAL
- ANDESITAS (1)
- TURBAS
- BASALTOS (2)
- CANAL 5 m<sup>2</sup>/SEG
- ARENAS (6)

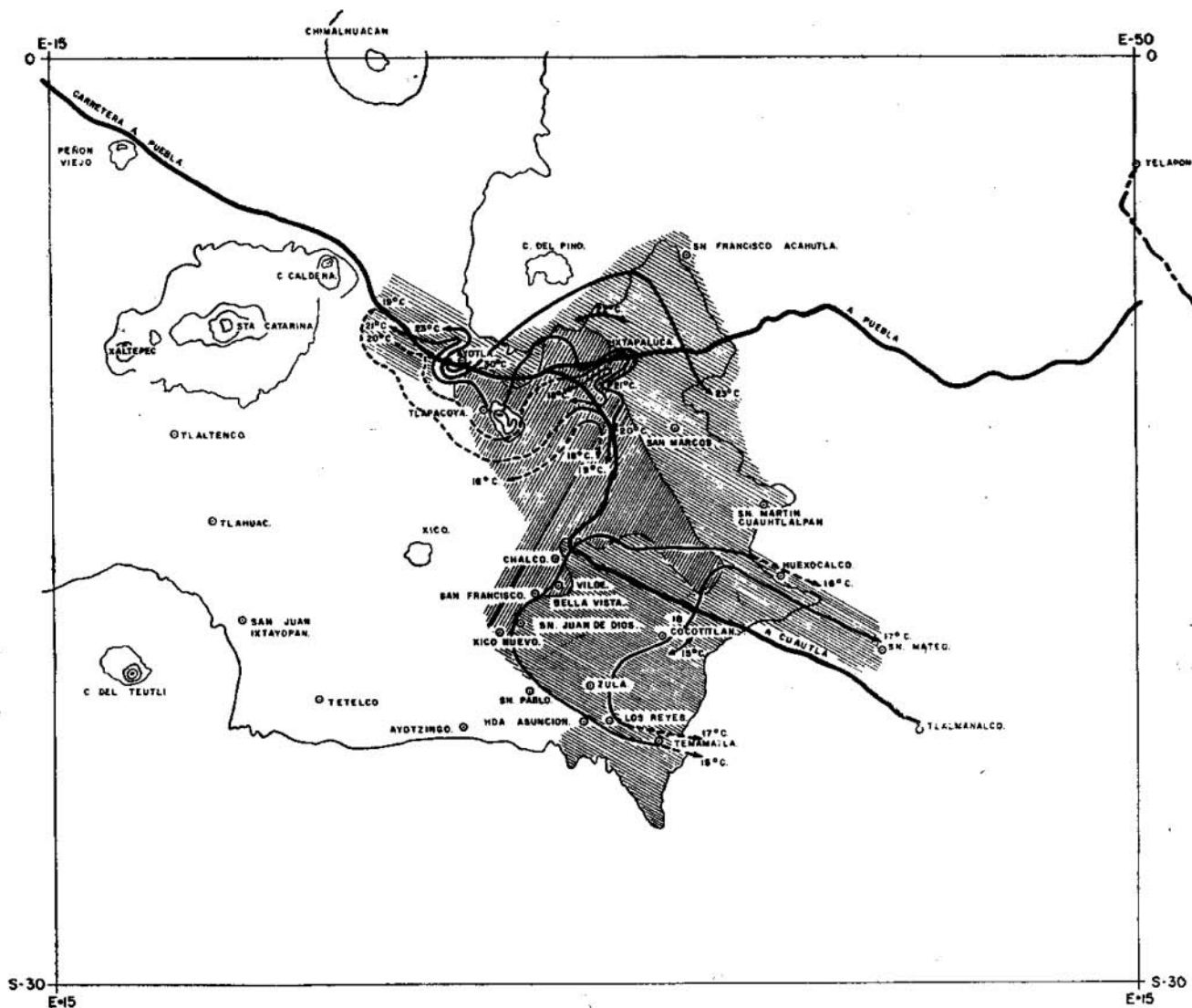
GEOLOGIA SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DE LA SUBCUENCA DE CHALCO (CUENCA DE MEXICO.)







ESCALA HORIZONTAL 1:50 000



ANOMALIAS GRAVIMETRICAS  
SUB CUENCA DE CHALCO.



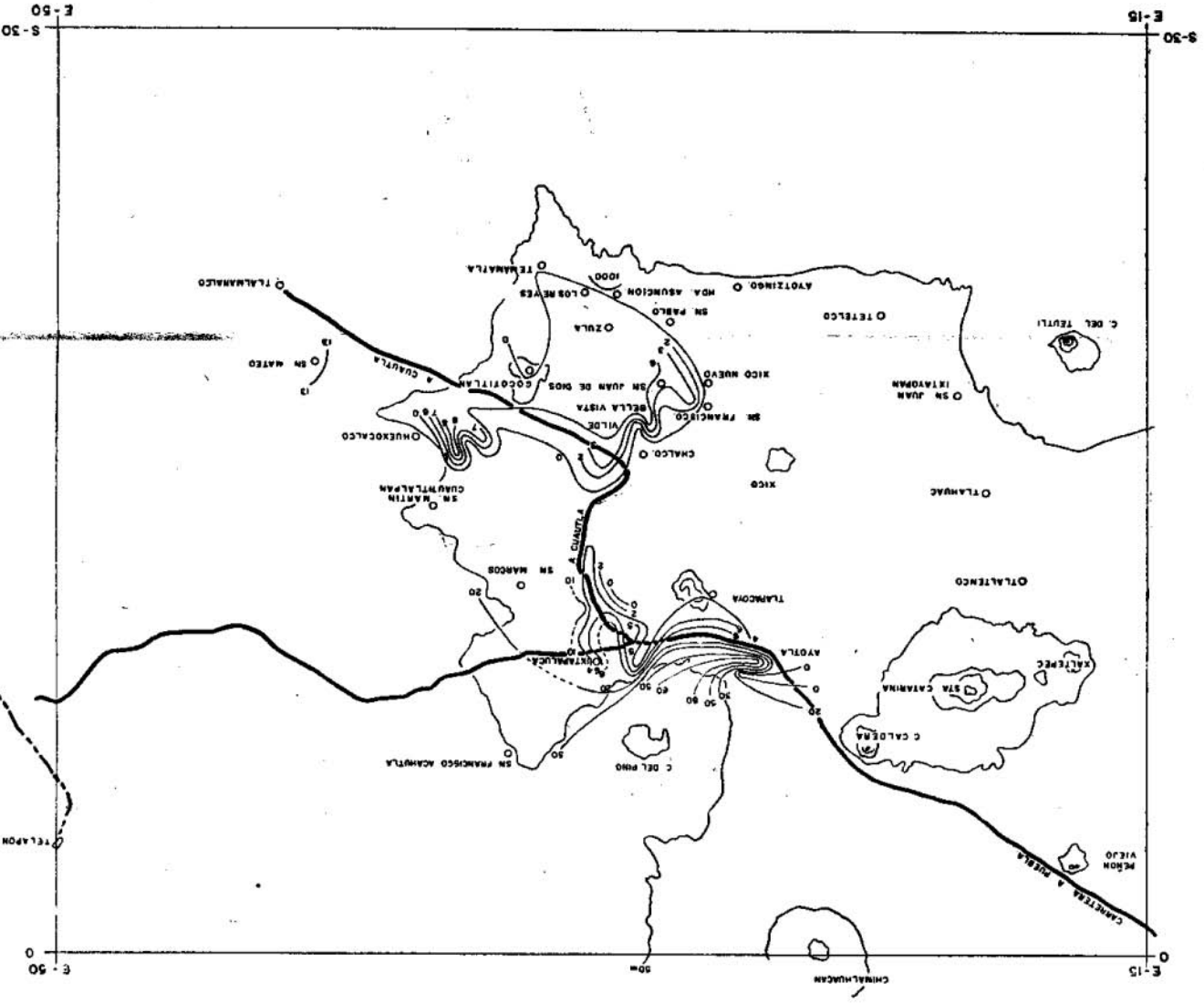
LEYENDA

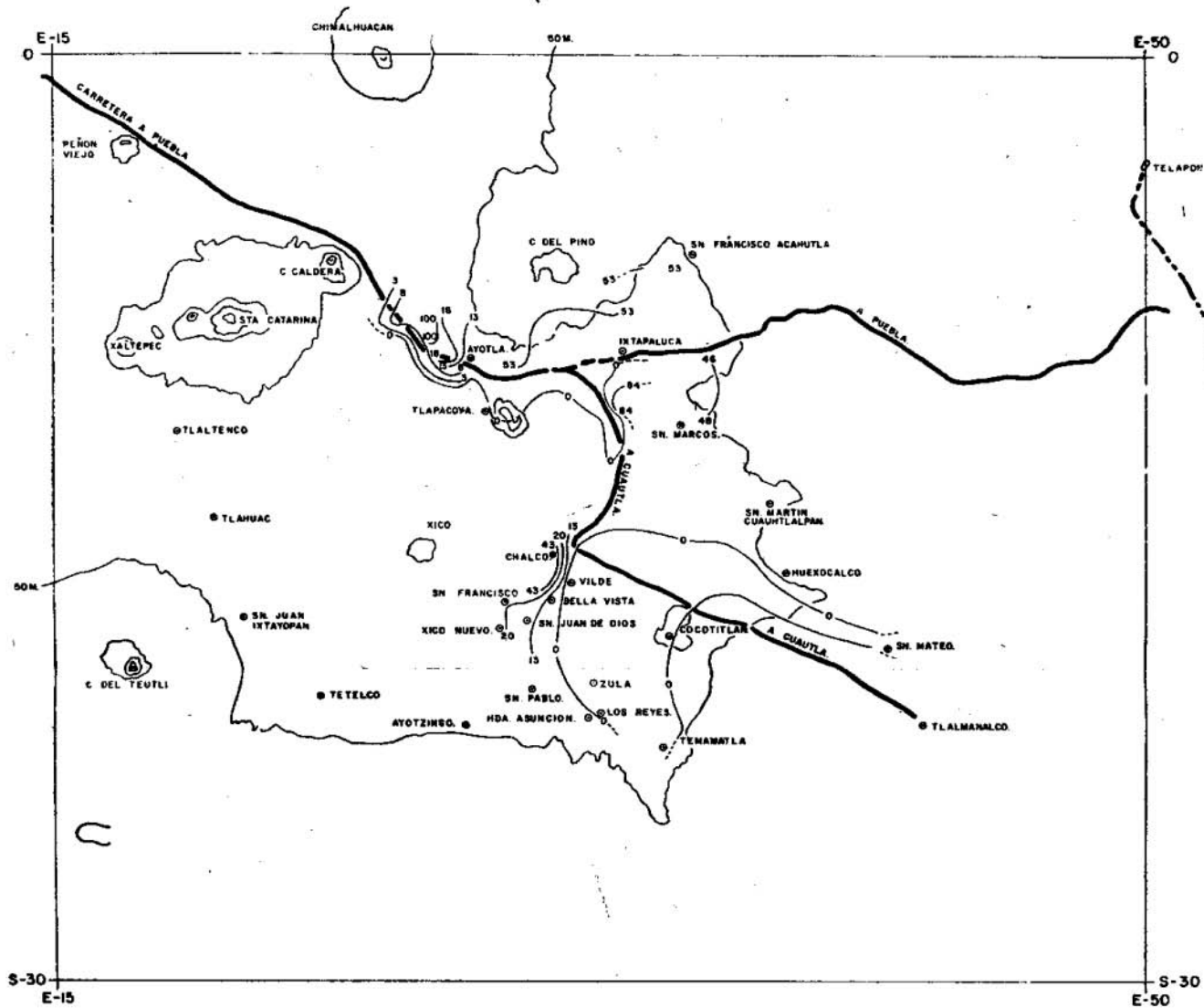
-  AGUAS CLASE I
-  AGUAS CLASE III
-  °C.
-  CURVAS ISOTERMAS

LOCALIZACION DE LOS ACUIFEROS, CLASES I Y III -  
(CHASE PALMER).  
CURVAS ISOTERMAS, CORRESPONDIENTES A  
LAS TEMPERATURAS DEL AGUA.

NOTAS: LOS VALORES DE LAS CURVAS ESTAN DADOS EN GAMAS DE METAL CONTENIDAS EN 1000 CC. O SEA POR EJEMPLO: 0.004 P.P.M. DE ZINC, QUE CORRESPONDEN A 4 GAMAS DE METAL EN 1000 CC.

LEYENDA  
CURVAS ISO-ZINC





**LEYENDA**

 CURVAS ISO-BORO.

NOTAS:--LOS VALORES DE LAS CURVAS  
ESTAN DADOS EN GAMAS DE  
ELEMENTO CONTENIDO EN-  
1000 c.c.

filtración o de recarga artificial están indicados en el Plano No. 1.

En la subcuenca de Chalco existen varios lugares adecuados para establecer áreas de recarga artificial y estas son: en la parte Norte San Francisco Acahutla, Ixtapaluco y San Marcos; en la parte Sur. cuenta las conclusiones obtenidas de los estudios antes indicadas y de acuerdo con la probable circulación que geoquímicamente ha San Martín Cuauhlalpan, Huexocalco y San Mateo.

Estas áreas de recarga artificial han sido elegidas teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas de los estudios antes indicados y de acuerdo con la probable circulación que geoquímicamente ha sido encontrada. Planos Nos. 4 y 5.