

ESTUDIO HIDROGEOQUIMICO DE LA PORCION CENTRO-ORIENTAL DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO

Rodolfo del Arenal*

RESUMEN

El área de estudio está en el Valle del Mezquital, Hidalgo; en ella se distinguen seis grandes grupos de rocas cuyas características hidrogeológicas, con diferentes porcentajes de permeabilidad, se comparan con las características hidrogeoquímicas, representadas por las distintas facies químicas del agua que circulan por ellos. Se manifiesta la existencia de tres mantos acuíferos, su litología, comportamiento y la influencia de las aguas de riego (aguas negras) dentro del sistema hidráulico general en relación con la estructura geológica del área.

La interpretación de los análisis químicos de las muestras señala que se tienen tres grupos hidrogeoquímicos, entre los que destacan: $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$, $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$, que indican una familia de aguas *sódica-bicarbonatada*, predominante en casi toda el área de estudio. Los grupos restantes están representados por las familias *mixta-bicarbonatada* y *calcica-bicarbonatada*, de lo que se desprende que la facies aniónica está perfectamente definida por los bicarbonatos y la catiónica manifiesta un intercambio en las aguas entre el sodio y el calcio, con sus mezclas correspondientes.

En este artículo se presenta la interpretación de los análisis químicos por medio de diagramas semilogarítmicos, estableciéndose comparaciones entre las aguas superficiales (incluidas las de riego) y subterráneas.

RESUME

L'aire d'étude se trouve localisée dans le dénommée Valle del Mezquital, Hidalgo, où on peut distinguer six groupes de roches où ses caractéristiques hydrogéologiques avec différent pourcentages de perméabilité, se comparent avec les caractéristiques hydrogéochimiques, représentées pour les différentes facies chimiques de l'eau qui circulent pour eux. De cette manière, on met en évidence l'existence de trois nappes aquifères, sa litologie, comportement et l'influence en eux des eaux d'arrosage (eaux noires) dans le système hydraulique général en relation avec l'structure géologique de l'aire.

L'interprétation des analyses chimiques des échantillons signale qu'il y a trois groupes hydrogéochimiques, parmi lesquels détachent: $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$, $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$, qu'indiquent une famille *sodique-bicarbonatée* prédominant en presque toute l'aire d'étude. Les groupes qui restent sont représentés par les familles *mixte-bicarbonatée* et *calcique-bicarbonatée*, où on détache que la facies anionique est parfaitement définie pour les bicarbonates, et la cationique manifeste un interchangement dans les eaux parmi le sodium et le calcium, avec ses mélanges correspondants.

On présente l'interprétation des analyses chimiques au milieu de diagrames semilogaritmiques, dans lesquels on établie la comparaison parmi les eaux superficielles (inclus les eaux d'arrosage) et les souterraines.

INTRODUCCION

Habiendo revisado sobre el terreno las estructuras geológicas desde el punto de vista de sus características de permeabilidad y porosidad, que nos permiten clasificar posibles zonas de escurrimientos e infiltración y después de haber realizado un inventario de todos los puntos de agua naturales y artificiales existentes representados por ríos, arroyos, manantiales, norias, pozos y presas, en este artículo se destaca la importancia de los estudios hidrogeoquímicos, que podrían aportar información complementaria valiosa y confirmar otro tipo de observaciones con fines de investigación.

Así, pueden obtenerse indicaciones útiles para comprender el origen del flujo subterráneo, la red hidrográfica, la existencia de circulaciones termales, sean o no independientes, así como la clasificación de familias de aguas y grupos hidrogeoquímicos. La información se ha vaciado en los diagramas se-

milogarítmicos que se presentan, y permite apreciar dichas indicaciones en forma objetiva.

Por otra parte, en todo estudio hidrogeológico, independientemente de su finalidad específica, la geoquímica de las aguas subterráneas es de interés básico debido, sobre todo, a que se debe considerar siempre la obtención de aguas de una calidad apropiada a la demanda.

En el caso que nos ocupa, por tratarse de una región árida, casi siempre se destaca la calidad química de sus aguas, más que los volúmenes que de ella puedan ser utilizados.

LOCALIZACION

El área de estudio se localiza en el Valle del Mezquital, situado en la parte centro-oriental del Estado de Hidalgo (Figura 1).

Para el presente artículo se eligió aquella región cuya cartografía hidrológica ya había sido ejecutada (del Arenal, 1978). El área, con una superficie aproximada de 2,200 km², está comprendida entre los 20°00' a 20°30' N y 98°55' a 99°20' W y limitada al norte por el Valle de Ixmiquilpan, el poblado del mismo nombre y los cerros Huandri, El Ventorrillo, Pozuelos, Gaxido, El Aguila y Monte Noble; al este, por el Va-

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.; actualmente en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

lle y la Sierra de Actopan; al sur por los cerros Xicuco y El Gorrión y por los poblados Tlaxcoapan, Tetepango y Ajacuba, y al oeste por la Sierra de Xinthé.

En los extremos septentrional y meridional de la zona, donde hay una elevación mayor, predomina el clima subhúmedo y semicálido con una precipitación del orden de 500 mm y una temperatura media anual de 15° C. En la parte central es semiárido y semifrío, con una precipitación del orden de 400 mm y una temperatura de 18° C.

El acceso a la zona de estudio se lleva a cabo a través de una red adecuada de carreteras y caminos secundarios. Entre ellas se cuenta la Carretera Federal Núm. 85 (México-Laredo) que une a los poblados de El Arenal, Actopan, Caxuxi, Lagunilla, Patria Nueva, Yolotepec e Ixmiquilpan; la carretera México-Querétaro, en donde por Tepeji del Río se llega a Tula y de aquí a Tlahuelilpan, Mixquiahuala y Progreso, uniéndose a la anterior en Ixmiquilpan. Transversalmente se encuentra la carretera que une a Progreso con Actopan. Existen además algunos ramales que permiten el fácil acceso a la zona de estudio. Por otra parte, se tiene el ferrocarril que une a Pachuca con Tula y corre por la ladera septentrional del cordón de sierras que separa al Valle del Mezquital de la Cuenca de México; su función principal es la carga de cemento y minerales.

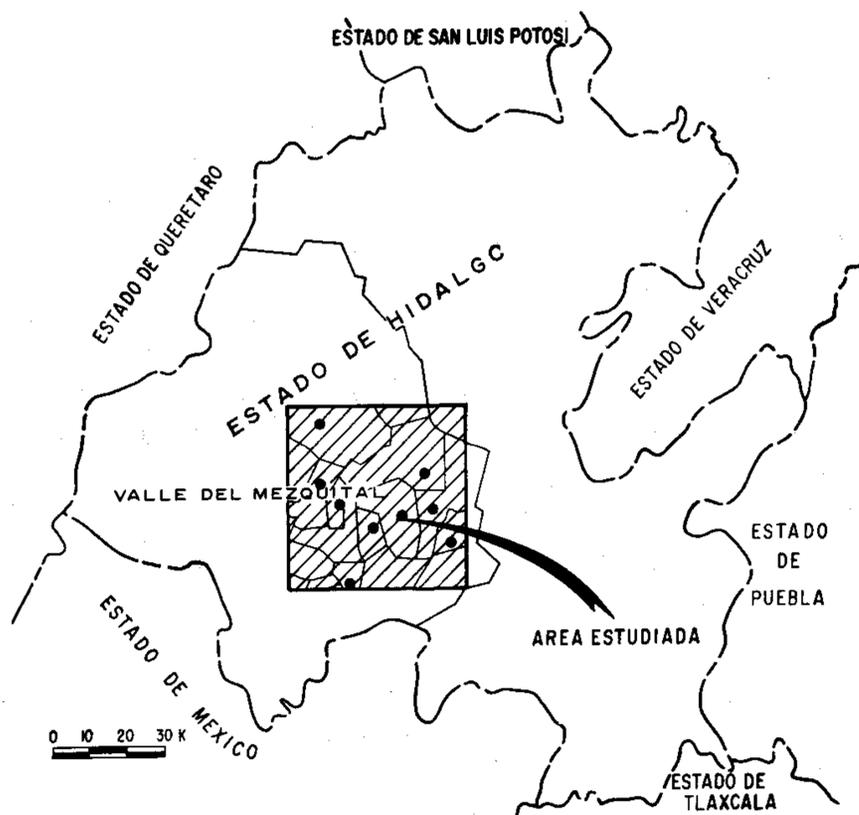


Figura 1.- Mapa de localización.

FISIOGRAFIA

El Valle del Mezquital tiene un relieve ondulado en los extremos septentrional y meridional, en lo que corresponde a sus límites; en la parte central su relieve es plano.

El Valle de Tula-Actopan es la planicie principal del Valle del Mezquital, abarcando casi la totalidad de la zona de riego. Se inicia en la ciudad de Tula, con 2,030 m de altura, descendiendo suavemente hasta el poblado de Mixquiahuala con 1,999 m. Se encuentra limitado al norte por la Sierra de San Miguel de la Cal, al oeste por la Sierra de Xinthé, al este por la Sierra de Pachuca, al sureste por la Sierra de Chicavasco y al sur por los lomeríos de Tepeji del Río.

El Valle de Ixmiquilpan, situado al norte del área de estudio, tiene una altura de entre 1,500 y 1,850 m, es ligera-

mente ondulado y con un declive suave hacia el oeste; se le dio este nombre porque ocupa casi la totalidad del municipio de Ixmiquilpan.

Existen sierras aisladas como la de San Miguel de la Cal, que abarca una superficie aproximada de 18 km², siendo el Cerro San Miguel el de mayor elevación (2,800 m) dentro del valle. Estas sierras separan el Valle de Actopan del de Ixmiquilpan y el de Actopan del de Tula. La Sierra de Xinthé alcanza una altitud máxima de 2,700 m. En la serranía de Sombrerete se tienen también otras eminencias como los cerros Panales, Alberto, Xinthé y Deca.

Todos los valles mencionados tienen una dirección predominante noroccidental y escurren sus aguas al Río Tula.

HIDROGRAFIA

La zona de estudio es drenada por los ríos Tula y Actopan, pertenecientes a la cuenca del Moctezuma-Pánuco.

El Río Tula, considerado solamente desde el poblado de Atengo donde toma una dirección noroccidental, recibe, después de pasar por el poblado de Tezontepec de Aldama, el aporte más importante constituido por el Río Salado, cuyo origen son las aguas negras que provienen del Estado de México, por el Canal del Desagüe a través de los túneles de Tequisquiácac. Este río, con una dirección sur a norte y pasando por las cercanías de los poblados de Atitalaquia, Taxcoapan, Tetepango y Tlahuelilpa de Ocampo, se une al Río Tula en el punto mencionado. El Río Tula, cuyo curso aguas arriba tiene el nombre de Río Tepeji, aporta sus aguas a las presas Taxhimay, Requena y Endhó y después de recibir las aguas del Río Salado, prosigue su curso prácticamente hacia el norte para obtener otros aportes de menor importancia. En las cercanías del poblado de Ixmiquilpan recibe al Río Actopan, de cabezas muy diversificadas y toma el nombre del poblado en donde todas las aguas forman el cauce principal al descender de las sierras de Pachuca y Chicavasco. Después de recibir a los ríos Salado y Actopan, el Río Tula comparte sus aguas, a la altura del poblado de Zimapán, con el Río San Juan del Río y con el aporte posterior del Río Hondo constituye el Río Moctezuma. Este último es uno de los afluentes más importantes del Río Pánuco que desemboca en el Golfo de México. El Río Tula es el único de régimen permanente durante todo el año, ya que se alimenta por corrientes que descienden de la parte montañosa del Valle de México y por las aguas negras provenientes del Estado de México.

El Río El Salto es el origen del Río Tula y lleva este nombre desde la salida artificial del tajo de Nochistongo, en donde toma las aguas sobrantes de los ríos Cuautitlán y Tepetzotlán. Se abastece, además, de las aguas de los ríos Tepeji y Cosconete o Tlautla, que provienen de la parte montañosa del noroeste de la Cuenca de México; a la altura del vaso de la Presa Endhó obtiene las aguas del Río Rosas, el cual es alimentado a su vez por el Arroyo Trancas. A partir de este punto se le conoce con el nombre de Río Tula y sigue su recorrido en la zona de estudio de sur a norte, y en las cercanías del poblado de Ixmiquilpan recibe sobre su margen derecha el aporte del Río Actopan.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

Desde los puntos de vista geológico e hidrológico se han distinguido en el área seis grandes grupos de rocas. En este

estudio sólo se tendrá en cuenta el papel que juegan éstos en relación directa con las aguas subterráneas (Figuras 2 y 3). Las características hidrogeológicas de estos grupos se pueden resumir de la manera siguiente (del Arenal, 1978).

- Calizas de origen marino, lentes y nódulos de pedernal y capas dolomíticas de edad cretácica temprana, con una permeabilidad mediana que aflora en las partes central y septentrional.
- Calizas con intercalaciones de arcilla y nódulos de pedernal y capas interestratificadas de lutita, limolita, areniscas y calizas de origen marino de edad cretácica tardía de permeabilidad débil, aflorando principalmente en las partes central y septentrional.
- Conglomerados de caliza y derrames de lava y tobos de edad eocénica y permeabilidad mediana, aflorando en la parte central.
- Rocas volcánicas representadas por riolitas, basaltos, andesitas y rocas volcánicas no diferenciadas, del Mioceno-Oligoceno, permeabilidad nula formando importantes afloramientos principalmente en las partes meridional, noroccidental, nororiental, oriental y occidental.
- Material clástico, lentes de caliza lacustre y cenizas volcánicas. Derrames de lava, brechas y cenizas asociadas, así como relaciones entre estos materiales de edad pliocénica que cubren la mayor parte del área con una permeabilidad no uniforme y medianos recursos en agua.
- Aluvión, lavas, cenizas volcánicas, derrames lávicos, brechas, calizas lacustres, yeso, travertino e interdigitaciones desordenadas de estos materiales de edad pleistocénica y del Holoceno que afloran principalmente a lo largo de las vegas del Río Tula y en los alrededores de los poblados de Actopan e Ixmiquilpan; su permeabilidad se considera elevada.

MANTOS ACUIFEROS

Dentro de los grupos de roca mencionados, los estudios efectuados han demostrado la existencia de tres mantos acuíferos. El primero es somero y de profundidad variable, localizado irregularmente en los aluviones cuaternarios de origen fluvial, cuya recarga proviene principalmente de las infiltraciones de las aguas de lluvia, de las aguas de riego (aguas negras) y por aporte lateral subterráneo (la contribución de las aguas negras se realiza con mayor intensidad en la parte suroccidental). Este primer manto acuífero se considera libre o no confinado.

El segundo manto acuífero está localizado principalmente en los basaltos y se piensa que está parcialmente confinado, aunque un estudio más amplio y detallado deberá confirmar lo anterior y delimitar su extensión y posición estructural.

El tercer manto se localiza en las calizas cretácicas y se infiere que en algunas ocasiones se manifiesta como acuífero libre y en otras como acuífero parcial o completamente confinado. Será necesario también un estudio más amplio y exhaustivo para comprender su comportamiento hidráulico; sin embargo, el autor considera que este comportamiento está en gran parte ligado a la zona artesiana de San Salvador, localizada prácticamente en el centro del área, ya que es en ella donde es evidente, desde hace mucho tiempo, un artesianismo casi constante.

Se han realizado algunas investigaciones sobre el punto anterior (Payne, 1975; Andreu *et al.*, 1980) y, aunque se han

despejado muchas dudas con la aplicación de técnicas isotópicas en aguas superficiales y subterráneas para conocer su origen, edad e interacción con las aguas de riego, no se ha logrado aclarar completamente el comportamiento hidráulico; aunque sí se ha puesto en evidencia la complejidad del problema.

La mayor parte de las muestras recolectadas en este estudio pertenece al acuífero en basaltos. Estas aguas en muchos sitios se encuentran mezcladas con las aguas de riego. En otros lugares ha sido difícil determinar el comportamiento hidráulico de este manto, como en la zona de San Salvador, donde los pozos perforados manifiestan artesianismo sin que se pueda aclarar completamente hasta el momento dicho fenómeno. Sin embargo se considera que la influencia de las aguas de riego, así como el flujo general, han condicionado el mismo.

Por lo que respecta al acuífero en calizas, se piensa que, aunque en menor proporción, existe también la influencia de las aguas de riego en determinados puntos, siendo difícil establecer la zonificación correspondiente. Muchas de estas aguas se derivan de manantiales que pueden "reciclarse" hidráulicamente en un momento dado, coadyuvando así al desconocimiento de dicho comportamiento.

Además, debe considerarse el termalismo de algunos manantiales muy cercanos como Pathé, Humedades y Dios Padre, sin que se tenga hasta el momento una explicación o conocimiento lógico ligado, en su conjunto, a la estructura geológica del área.

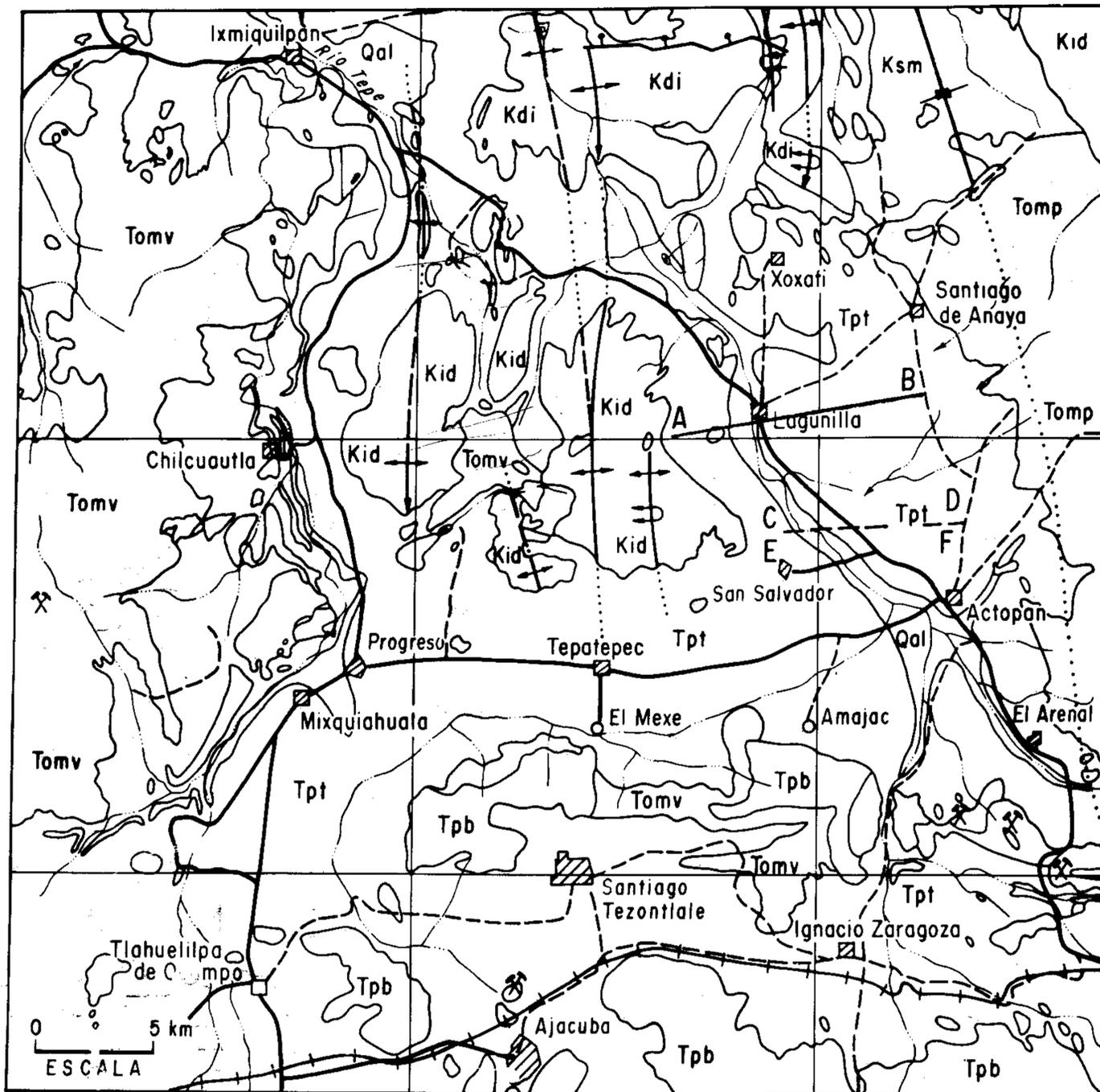
La presencia de calizas cretácicas tempranas de la Formación El Doctor en el Cerro de la Cal (Figura 4) muestra, según lo señalado por Fries (1962) en su sección A-B de la Hoja Pachuca 14Q-e(11), la existencia a profundidad en el Valle de Actopan de estructuras que el autor considera favorables para la posible acumulación de agua confinada y que están representadas en esa zona por el sinclinorio de Chalmita (Figura 5a). Lo anterior se ha confirmado parcialmente con los datos obtenidos de las perforaciones existentes, que han puesto en evidencia mantos productores de aguas de potencialidad variable, según sea el acomodo estratigráfico de las formaciones del área.

Sin embargo, el examen de las diferencias relativamente grandes en la profundidad de los niveles de agua de esta zona, entre el acuífero en basaltos (pozo Actopan con 400 m de p.t.) y el acuífero en calizas (pozo Fénix 7 con 215 m de p.t.), con una distancia aproximada entre ellos de 8 km, permite pensar en la existencia de una falla de tipo normal como la representada en la sección C-D de la Figura 5b (Z. de Cserna, comunicación verbal).

Por otra parte, el estilo de deformación de los bordes de plataforma, conocido por los estudios realizados un poco más al norte de esta área (plataforma de El Doctor y parte oeste de la plataforma de Valles-San Luis Potosí), son cabalgaduras de bajo grado permitiendo la posibilidad de una representación adicional como la indicada en la sección E-F de la Figura 5c (M. Carrillo, comunicación verbal).

Lo anterior nos lleva a ordenar, dentro del marco estructural y considerando los potenciales hidráulicos de los acuíferos, una carta de la superficie piezométrica con curvas equipotenciales (Margat, 1982, comunicación escrita).

La existencia de una familia química predominante y la complejidad en su interpretación permiten pensar en zonas de recarga diferentes, tanto para el acuífero en basaltos como para el acuífero en calizas y tomar en cuenta la posibilidad de interconexiones hidráulicas subterráneas, probablemente de cuencas vecinas.

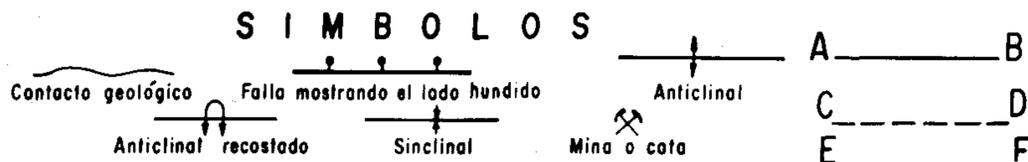


Dibujó L. Burgos P

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

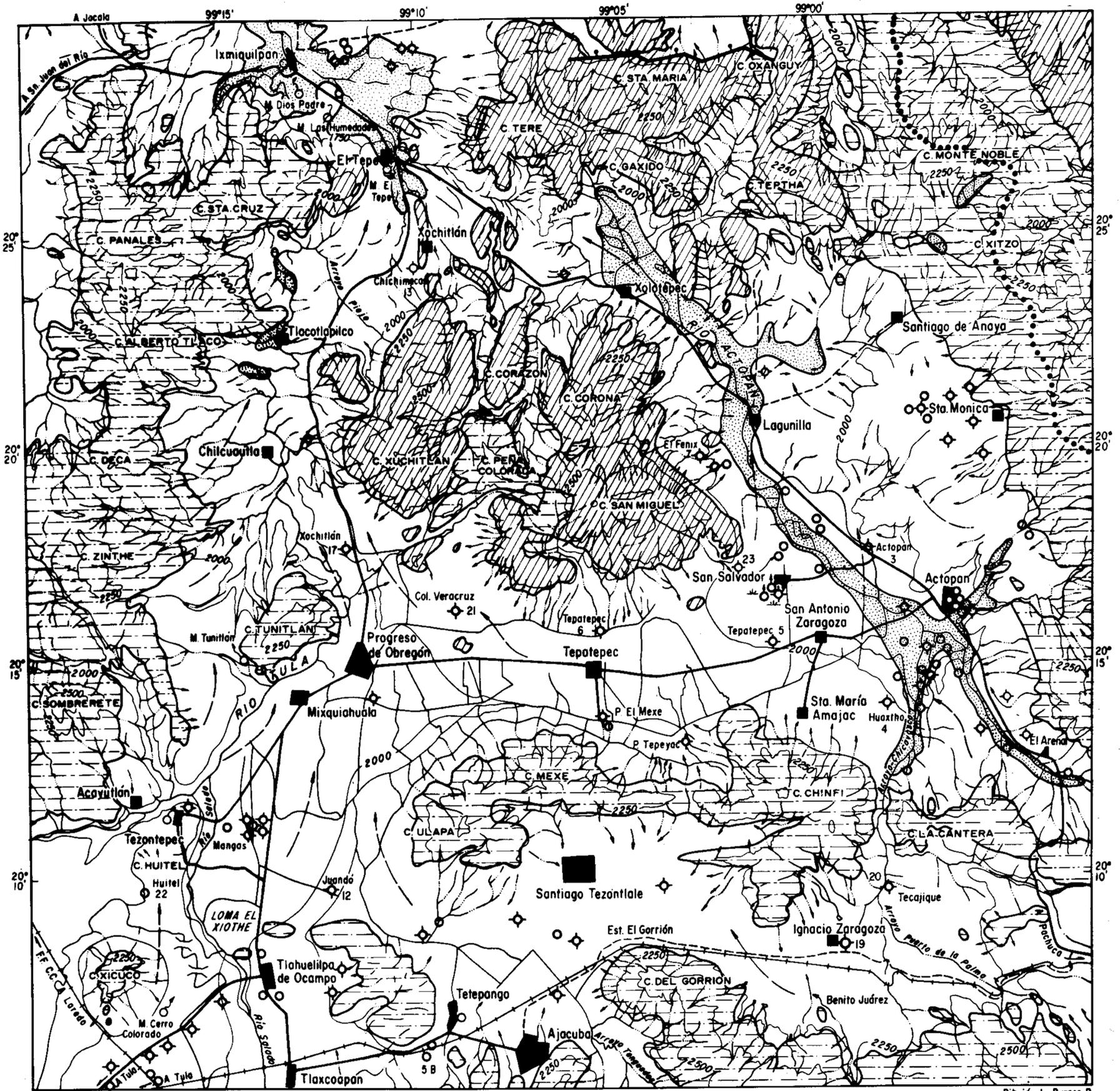
LEYENDA

MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Ksm	Formación Mexcala.—Capas interestratificadas de lutita, limolita, areniscas y calizas de origen marino.	
		SUPERIOR	Kss	Formación Soyatal.—Calizas con intercalaciones de arcilla y nódulos de pedernal	
	INFERIOR	Kid	Formación El Doctor.—Caliza de origen marino. Lentes y nódulos de pedernal y capas dolomíticas.		
	CENOZOICO	TERCIARIO	EOCENO	Teom	Grupo El Morro.—Conglomerados de caliza. Derrames de lava y tobas.
			OLIGOCENO MIOCENO	Tomv/Tomv	Grupo Pachuca.—Rocas volcánicas, riolitas, basaltos y andesitas (Tomv) y rocas volcánicas no diferenciadas (Tomv).
			PLIOCENO	Tpt/Tpb	Formación Tarango.—Material clástico. Lentes de caliza lacustre y cenizas volcánicas. Derrames de lava, bréchas y cenizas asociadas. Interdigitaciones entre estos materiales.
	CUATERNARIO	PLEISTOCENO RECIENTE	Qal	Aluvión, lavas, cenizas volcánicas, derrames lávicos, bréchas, calizas lacustres, yeso, travertino. Interdigitaciones desordenadas de estos materiales.	



BASE GEOLOGICA: Carta Geológica de México, serie de 1:100,000; HOJA PACHUCA 14Q-e (II)
por: CARL FRIES, JR. (1962)

Figura 2.- Mapa geológico simplificado del área de estudio. Geología adaptada de Fries (1962).



Dibujó: L. Burgos P

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

FORMACIONES GEOLOGICAS - PROPIEDADES DE LOS ACUIFEROS

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PERMEABILIDAD	RECURSOS EN AGUA
PLEISTOCENO Y RECIENTE	Aluvión de origen fluvial. Aluviones y material clástico con lentes locales de ceniza volcánica; calizas lacustres.	ELEVADA	
PLIOCENO	Material clástico predominante con lentes locales de ceniza volcánica y derrames de lava.	MEDIANA	
MIOCENO OLIGOCENO	Derrames de lava y cenizas asociadas de composición basáltica, andesítica. Rocas volcánicas de composición variable de riolita a basalto, localmente contiene arcilla, limo y calizas lacustres.	NULA	
CRETACICO	Calizas marinas y capas dolomíticas.	MEDIANA Y DEBIL	

BASE HIDROGEOLOGICA por: RODOLFO DEL ARENAL

SIMBOLOS

TOPOGRAFICOS	HIDROGRAFICOS	PUNTOS DE AGUA
Poblado	Río	Pozo
Carretera pavimentada	Arroyo	Pozo artesiano
Camino vecinal	Manantial	Noria
Ferrocarril	Dirección de flujo subterráneo	Presa
Curva de nivel	Zona pantanosa	Canal
	Divisoria hidrográfica	

0 1 2 3 4 5
kilómetros

Figura 3.- Carta hidrogeológica del área de estudio.



Figura 4.- Cerro de La Cal. Afloramiento principal en el área de la Formación El Doctor, representado por calizas del Cretácico Inferior.

CARACTERISTICAS HIDROGEOQUIMICAS

Diferentes autores que han estudiado la importancia que representan los estudios geoquímicos (Schoeller, 1956, 1963; Stretta, 1961; Stretta y del Arenal, 1961; Arad, 1966, 1967) han coincidido en que, para demostrar la relación que existe entre la composición química y el origen de los "yacimientos" de las aguas subterráneas, se pueden presentar dos posibilidades:

La primera sería tomar en cuenta los datos químicos obtenidos y, a partir de ellos, deducir el origen y naturaleza de los yacimientos de las aguas. La segunda sería deducir la composición química, a partir del origen de las aguas y de la naturaleza de sus yacimientos.

La experiencia ha demostrado que el primer camino no es el indicado, debido a la participación de otros factores que ocultan y, sobre todo, alteran las relaciones directas de la composición química. Entre ellos destacan fundamentalmente el

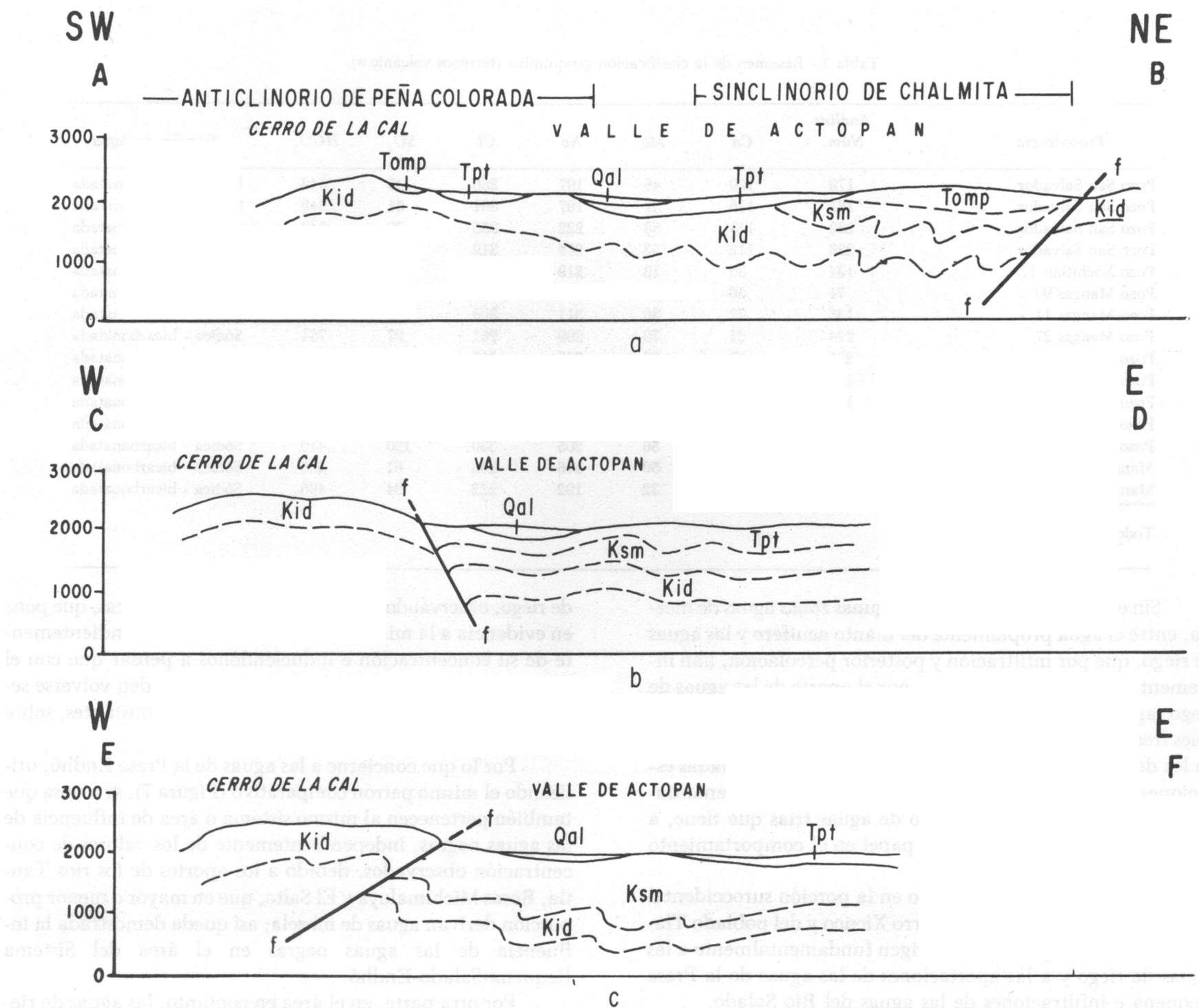


Figura 5.- Secciones estructurales a través del Valle de Actopan. Para la localización de las secciones véase la Figura 2.

clima y otros fenómenos modificadores como la dilución, la concentración por evaporación y disolución, la reducción y la oxidación. Por otro lado, no se debe olvidar la velocidad de circulación de las aguas en el subsuelo que juega un papel muy importante permitiendo, cuando es lenta, un mayor enriquecimiento en la composición química de las aguas por el mayor contacto con la roca por donde transita. Sobre este punto se considera que realmente es muy difícil establecer una clasificación genética basándose exclusivamente en la composición química de las aguas subterráneas, ya que definitivamente existen más fenómenos que intervienen, como la misma composición química (Schoeller, 1963).

De esta manera, los distintos fenómenos señalados representados por los tipos de clima, suelo y vegetación, ligados a las características hidrogeológicas del terreno, permiten que cuando se produzcan la infiltración, percolación y posterior circulación de las aguas de lluvia (alimentación vertical) o el aporte lateral condicionado a la estructura del subsuelo, las aguas, en su recorrido lento o rápido, presenten características químicas directamente relacionadas con los terrenos en que transitan.

Por otra parte, dichos fenómenos tienden a agruparse en zonas climáticas, geológicas e hidrológicas, en donde cada una varía la composición química. Así, se tienen factores litológicos que dependen de la geología. La concentración por disolución, tomando en cuenta el tiempo de contacto con la roca encajonante, correspondería a la zona hidrológica, siendo la concentración por evaporación del dominio de la zona climática. Por lo anterior, se concluye que la litología del yacimiento (manto acuífero) es el factor inicial del origen de la composición química, siendo la concentración el factor final y esencial que constituye las facies hidrogeoquímicas, características de las diferentes zonas de estudio (del Arenal, 1962).

FACIES HIDROGEOQUÍMICAS

Terrenos volcánicos. - Las muestras de agua recolectadas, que en su mayoría corresponden a norias, pozos y manantiales, provienen del manto acuífero en basaltos y la interpretación geoquímica sitúa a la mayor parte de ellas dentro de la familia sódica-bicarbonatada (Tabla 1).

Tabla 1.- Resumen de la clasificación geoquímica (terrenos volcánicos).

Procedencia	Análisis Núm.	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	Familia de Agua
Pozo San Salvador	179	100	48	197	256	49	549	Sódica - bicarbonatada
Pozo San Salvador	181	116	51	197	291	51	549	Sódica - bicarbonatada
Pozo San Salvador	232	144	53	222	355	78	549	Sódica - bicarbonatada
Pozo San Salvador	236	112	53	219	319	102	475	Sódica - bicarbonatada
Pozo Xochitlán 17	134	35	13	219	132	106	415	Sódica - bicarbonatada
Pozo Mangas 90	71	56	53	392	245	78	758	Sódica - bicarbonatada
Pozo Mangas 11	135	72	86	311	308	146	755	Sódica - bicarbonatada
Pozo Mangas 27	224	51	70	299	261	97	754	Sódica - bicarbonatada
Pozo Mangas 29	225	53	62	323	267	121	738	Sódica - bicarbonatada
Pozo Juandhó 12	137	72	86	372	305	112	654	Sódica - bicarbonatada
Pozo Tepatepec 5	141	39	14	95	84	36	267	Sódica - bicarbonatada
Pozo El Mexe 18	138	29	31	87	59	52	324	Sódica - bicarbonatada
Pozo Huaxto 4	142	155	56	205	350	120	410	Sódica - bicarbonatada
Manantial Tezontepec	9	47	50	146	162	61	468	Sódica - bicarbonatada
Manantial Cerro Colorado	593	69	32	192	222	94	496	Sódica - bicarbonatada

Todos los valores en mg/l

Sin embargo, se observan en algunas zonas aguas de mezcla, entre el agua propiamente del manto acuífero y las aguas de riego, que por infiltración y posterior percolación, han incrementado sus niveles, es decir, por el aporte de las aguas de riego (aguas negras), se tiene una notoria elevación en los niveles freáticos de la región, observándose igualmente aumento en los desgastes del Río Tula, sobre todo en determinadas estaciones hidrométricas, así como la aparición de manantiales, como el del Cerro Colorado de aguas frías que tiene, a juicio del autor, un importante papel en el comportamiento hidráulico del área.

Este manantial, localizado en la porción suroccidental del área, en las cercanías del Cerro Xicuco y del poblado Tlahuelilpa de Ocampo, debe su origen fundamentalmente a las aguas de riego y a las aportaciones de las aguas de la Presa Requena e infiltraciones de las aguas del Río Salado.

Para ilustrar lo anterior, se presenta el diagrama semi-logarítmico que muestra la comparación química entre las aguas del manantial Cerro Colorado (Figura 6) y las aguas

de riego, observándose un paralelismo en sus gráficas, que pone en evidencia a la misma familia química, independientemente de su concentración e induciéndonos a pensar que con el tiempo, las aguas en su contenido iónico pueden volverse semejantes a las aguas de riego por los aportes constantes, sobre todo del Río Salado.

Por lo que concierne a las aguas de la Presa Endhó, utilizando el mismo patrón comparativo (Figura 7), se piensa que también pertenecen al mismo sistema o área de influencia de las aguas negras, independientemente de los valores de concentración observados, debido a los aportes de los ríos Tautla, Rosas Michimaloya y El Salto, que en mayor o menor proporción derivan aguas de mezcla; así queda demostrada la influencia de las aguas negras en el área del Sistema Requena-Salado-Endhó.

Por otra parte, en el área en conjunto, las aguas de riego han determinado otras zonas, aunque de difícil interpretación química, delimitación, clasificación y cartografía.

La facies hidrogeoquímica de estos terrenos volcánicos,

considerando su litología —fase inicial— representada por corrientes basálticas y rocas volcánicas no diferenciadas, confiere, con base en su composición, la fuente de sodio que recogen las aguas a su paso. La concentración —fase final— puede deberse tanto a la disolución como a la evaporación correspondientes al tránsito y acumulación de las aguas y, la distribución de las facies, en este caso está sujeta al irregular comportamiento del sistema hidráulico generado por el aporte permanente de las aguas de riego.

Terrenos sedimentarios.— Las muestras de agua recolectadas en este tipo de terrenos corresponden, en su mayoría, a manantiales y a algunos pozos como Chichimecas 13, Fénix 7, Capula 1 (fuera del área de estudio), Colonia Veracruz 21 y los Ixmiquilpan K-856 y K-828 (Tabla 2).

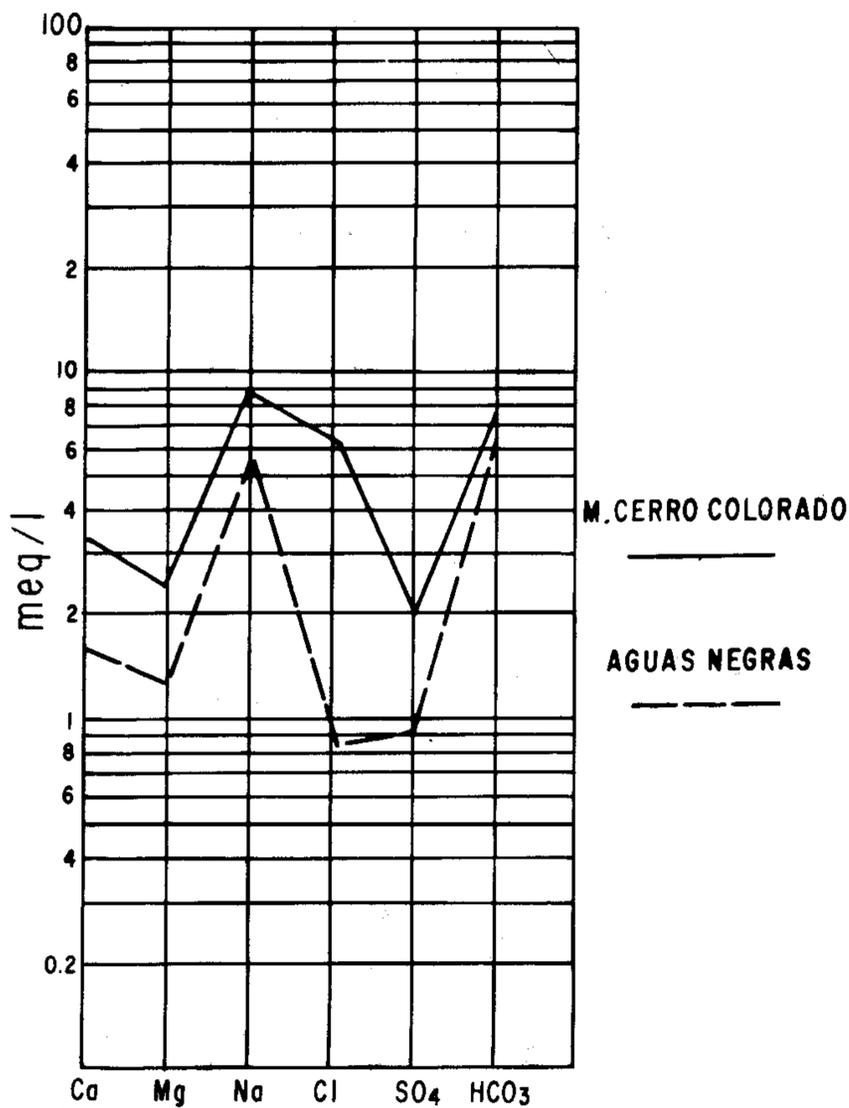


Figura 6.- Diagrama semilogarítmico mostrando la comparación entre las aguas del manantial Cerro Colorado y las aguas de riego (aguas negras).

Independientemente de la profundidad del nivel freático de estos pozos, en relación con la cota topográfica del afloramiento del agua en los manantiales, se considera que los elementos analizados alcanzan las mismas concentraciones y prácticamente corresponden a la misma familia de aguas sódica-bicarbonatada.

Por otra parte, si examinamos dentro del patrón hidráulico del área diferentes zonas de recarga, tanto para las aguas de estos terrenos como para las de terrenos volcánicos, se tendría, al igual que en los estudios isotópicos realizados, una marcada diferencia en la influencia de las aguas de riego como aguas de mezcla; es decir, afectando en una mayor proporción a las aguas de los terrenos volcánicos, lo cual se justifica por las diferencias en las alturas de recarga que puedan considerarse.

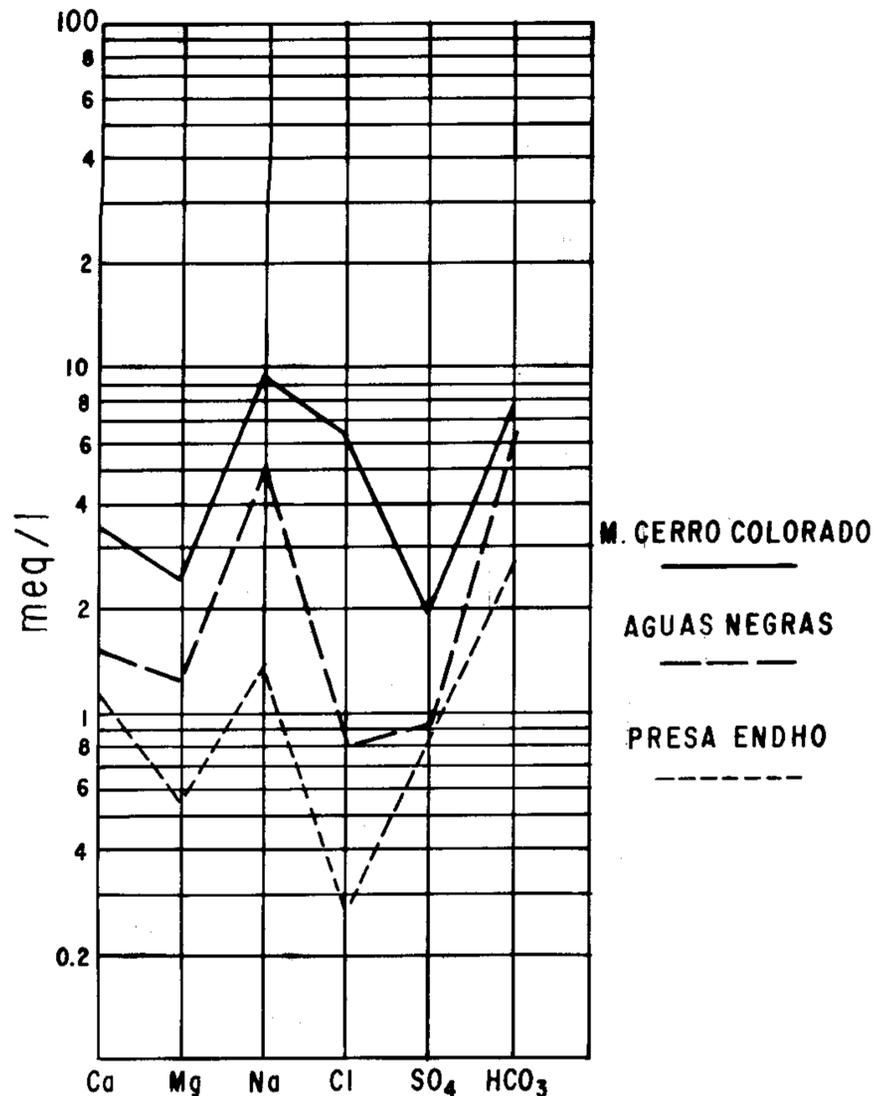


Figura 7.- Diagrama semilogarítmico mostrando la comparación entre las aguas del manantial Cerro Colorado, las aguas de riego (aguas negras) y la Presa Endhó.

En el diagrama semilogarítmico que corresponde a los manantiales Tephé, Dios Padre y Las Humedades (Figura 8) y en el diagrama semilogarítmico de la Figura 9, que encierra las gráficas resultantes de los análisis de agua tomados en los pozos Chichimeca 13 y Fénix 7, se ejemplifica lo dicho anteriormente ya que, siendo las líneas casi paralelas, independientemente de su concentración, se demuestra que pertenecen a la misma familia química de agua.

Terrenos aluviales.— La interpretación de las muestras de agua tomadas en este tipo de terreno demostró también la predominancia de la familia sódica-bicarbonatada (Tabla 3, Figura 10), constatándose por el paralelismo casi perfecto de sus gráficas.

Por lo que respecta a los valores de sólidos totales disueltos (STD), que pudieran aportar algún conocimiento adicional, su irregularidad es explicable por la presencia de las aguas de riego, que en forma permanente modifican los valores al incorporarse, por infiltración, en estos terrenos.

Sin embargo, conviene destacar que si se toman en conjunto la litología existente y el papel que juega el agua dentro de ella, es prácticamente imposible determinar un patrón zonal comparativo desde el punto de vista hidrogeoquímico; es decir, configurar áreas bien definidas en su contenido iónico a través de las familias de agua correspondientes, porque ni la distancia de un punto de agua a otro, superficial o subterráneo, ni la profundidad de los diferentes mantos acuíferos, son factores que coadyuven a ello.

Ante dicha dificultad, se consideró conveniente establecer grupos hidrogeoquímicos (Arad, 1966) que permitieran

Tabla 2.- Resumen de la clasificación geoquímica (terrenos sedimentarios).

Procedencia	Análisis Núm.	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	Familia de Agua
Manantial Dios Padre	63	34	23	104	68	87	286	Sódica - bicarbonatada
Manantial Las Humedades	64	56	22	108	96	79	349	Sódica - bicarbonatada
Manantial El Tephé	37	55	33	128	109	88	405	Sódica - bicarbonatada
Pozo Chichimecas 13	133	48	42	213	92	296	383	Sódica - bicarbonatada
Pozo Fénix 7	144	52	45	203	240	108	415	Sódica - bicarbonatada
Pozo Capula 1	132	100	12	152	187	67	386	Sódica - bicarbonatada
Pozo Ixmiquilpan (k-856)	60	26	6	225	119	84	424	Sódica - bicarbonatada
Pozo Ixmiquilpan (k-942)	42	15	5	341	156	67	603	Sódica - bicarbonatada

Todos los valores en mg/l

comprender el origen de las aguas, creando una relación directa con la naturaleza de sus yacimientos, así como el papel importante que tienen las aguas de riego (aguas negras) como modificadores adicionales de los comportamientos hidráulicos e hidrogeoquímicos en el área de estudio.

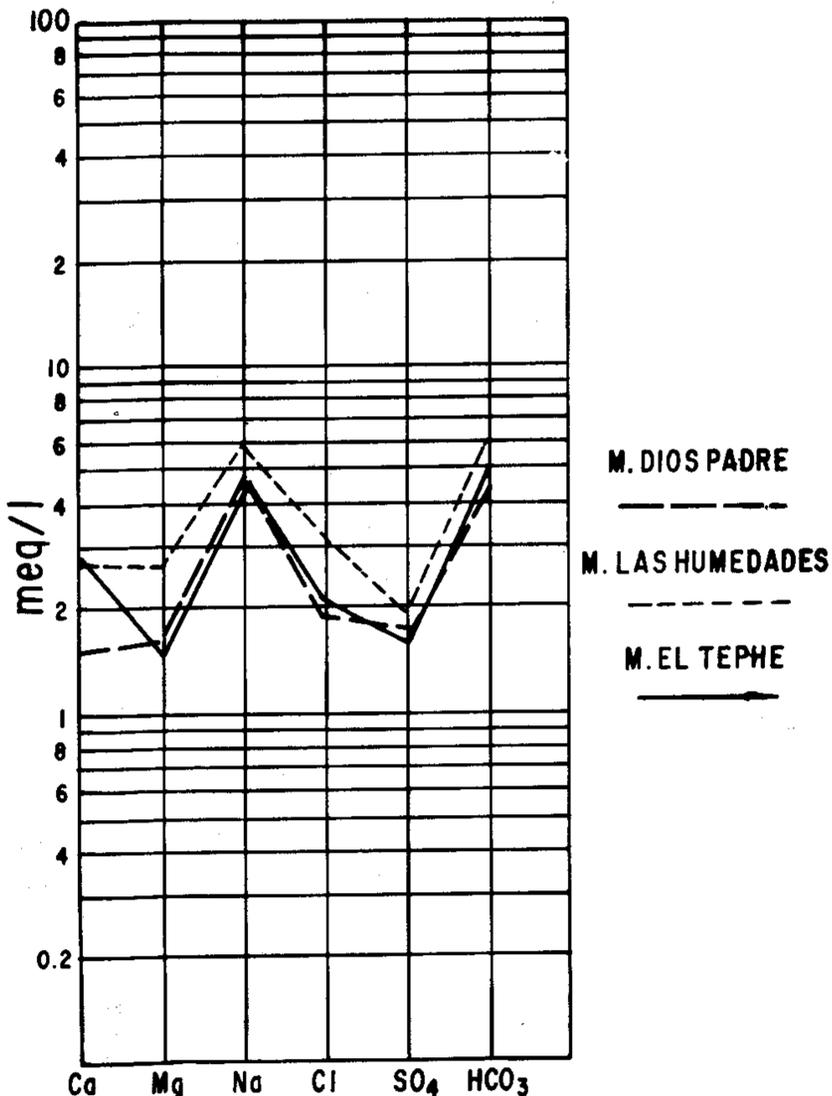


Figura 8.- Diagrama semilogarítmico. Gráficas resultantes de las muestras de agua tomadas en manantiales.

GRUPOS HIDROGEOQUÍMICOS

El establecimiento de los grupos hidrogeoquímicos se realizó con base en 90 muestras de agua procedentes de ríos, manantiales, canales, norias y pozos.

La interpretación de los análisis químicos de dichas muestras de agua (Tablas 1, 2 y 3) pone en evidencia la existencia de tres grupos hidrogeoquímicos (Figura 11), destacando dentro de ellos el correspondiente a: $Na > Mg > Ca$;

$HCO_3 > Cl > SO_4$, que indica una familia química de agua *sódica-bicarbonatada* que es, con base en los porcentajes obtenidos, la predominante en casi toda el área en estudio. Considerando los mismos porcentajes, la segunda familia química en importancia corresponde a aguas *mixtas-bicarbonatadas* y la tercera a aguas *cálcicas-bicarbonatadas*.

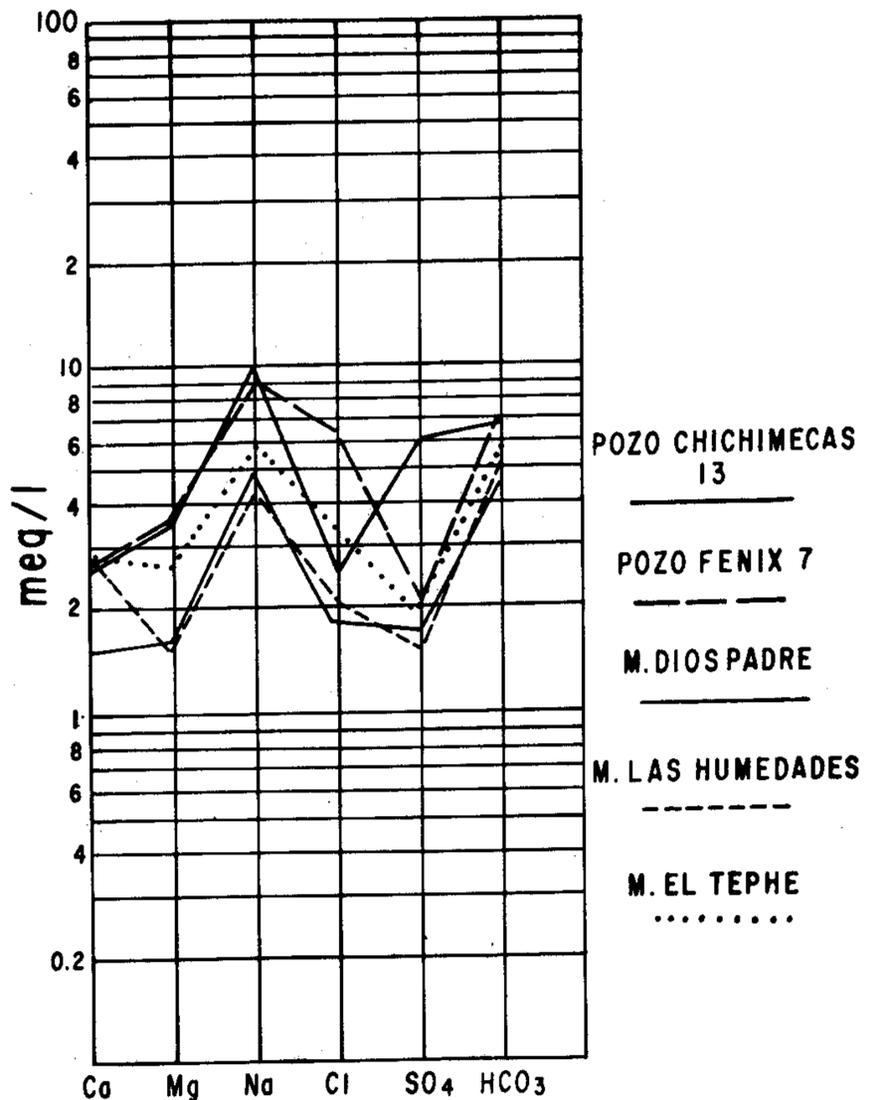


Figura 9.- Diagrama semilogarítmico. Pozos y manantiales localizados en terrenos sedimentarios.

De lo anterior se desprende que la facies aniónica está perfectamente definida con los bicarbonatos, mientras que la catiónica manifiesta un intercambio en las aguas entre el sodio y el calcio, con sus mezclas correspondientes, difícil de interpretar y clasificar y sobre todo difícil de representar cartográficamente, por lo que se le denomina *mixta*.

Los análisis cuya interpretación refleja que son aguas mezcladas (mixtas) incluyen muestras de agua de corrientes

superficiales y de corrientes subterráneas, de poca o mucha profundidad, obtenidas en norias y pozos. La litología de los mantos acuíferos existentes es volcánica y sedimentaria; esta

litología no establece diferencia geoquímica alguna y tampoco la representación gráfica de los diagramas semilogarítmicos, debido a la ausencia de paralelismo en las gráficas.

Tabla 3.- Resumen de la clasificación geoquímica (terrenos aluviales).

Procedencia	Análisis Núm.	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	Familia de Agua
Río Tula - Ixmiquilpan	594	59	29	106	108	82	406	Sódica mixta - bicarbonatada
Río Tula - Chilcuautla	216	50	41	164	161	75	489	Sódica mixta - bicarbonatada
Río Tula - Tlacotopilco	217	47	41	159	152	76	489	Sódica mixta - bicarbonatada
Río Tula - Tezontepec	595	42	17	52	30	40	264	Sódica mixta - bicarbonatada
Río Tula - Mixquiahuala	215	53	40	93	104	57	366	Sódica - bicarbonatada
Río Salado - Atitalaquia	598	27	29	440	336	92	779	Sódica - bicarbonatada
Río Salado - Tlahuelilpan	213	49	114	201	265	60	763	Mixta - bicarbonatada
Río Salado - Atotonilco	211	53	101	203	254	41	729	Sódica mixta - bicarbonatada
Noria k - 946 (Zona 1)	46	11	4	305	129	88	530	Sódica - bicarbonatada
Noria Extra 2 (Zona 1)	45	13	7	281	131	66	528	Sódica - bicarbonatada
Noria k-783 (Zona 4)	18	42	22	124	67	52	415	Sódica - bicarbonatada

Todos los valores en mg/l

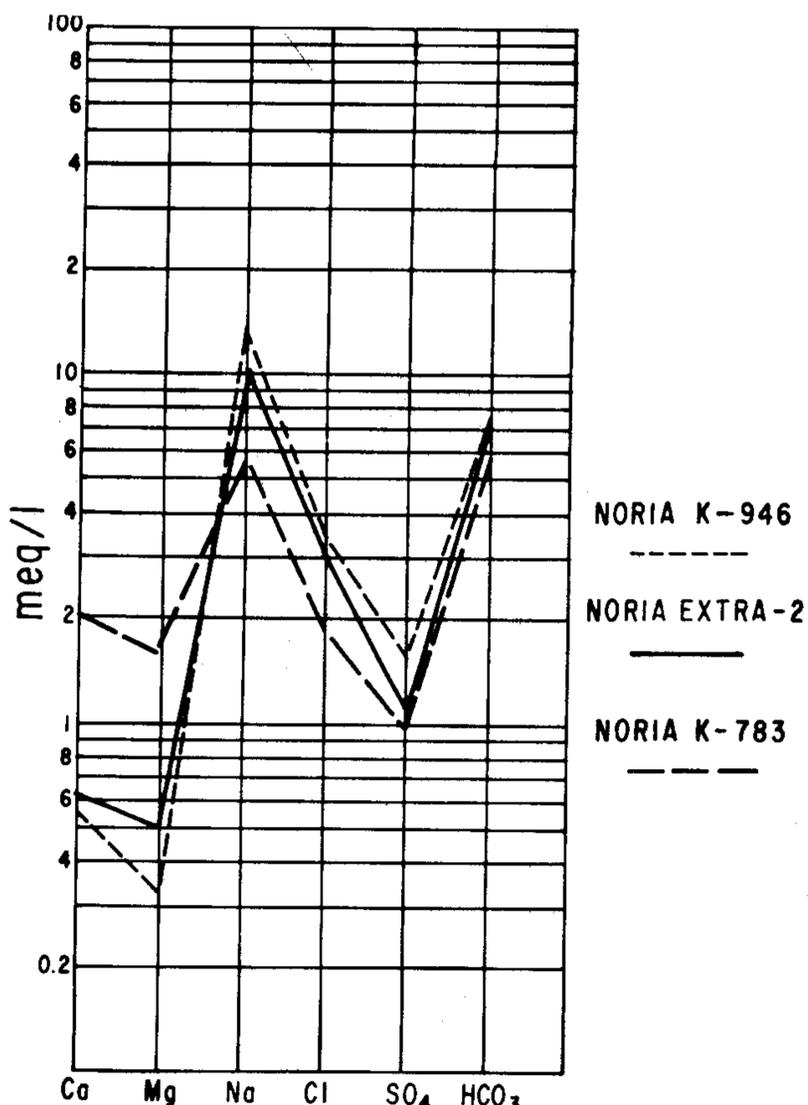


Figura 10.- Diagrama semilogarítmico. Gráficas resultantes de las muestras de agua tomadas en terrenos aluviales.

En el diagrama semilogarítmico de la Figura 12 se presenta un ejemplo de lo anterior, ya que a pesar de ser muestras de agua tomadas en puntos distantes, con litología radicalmente diferente, el paralelismo de las líneas es casi perfecto, independientemente de la concentración. La interpretación indica la misma familia de agua sódica-bicarbonatada.

Lo anterior quizás pudiera aclararse tomando en cuenta la existencia en la zona de estudio de una litología en general muy diversa, en donde las arcillas actuaran como mate-

riales intercambiables —intercambio iónico— y desarrollasen procesos de disolución. La casi total existencia de la familia química de aguas sódica-bicarbonatada podría entonces explicarse. En otras palabras, la presencia posible de un intercambio iónico del calcio con el sodio en las aguas y en las arcillas, cuando el movimiento de ellas se realizara a través de las diferentes interdigitaciones arcillosas y calcáreas en el subsuelo, originaría un cambio gradual que podría ser representado, primeramente, con una facies cálcica, seguida por una cálcico-sódica, para continuar con una sódica-cálcica y, finalmente, sódica (Back, 1966).

El sodio, que es un elemento del grupo de los minerales alcalinos y forma parte de buen número de silicatos, aumenta su concentración, como aquí se presume, por el efecto de la evaporación, aplicándose también a los valores encontrados en HCO₃.

La presencia de facies diversas ha sido condicionada a la litología existente; si consideramos además las características del sistema hidráulico de la zona examinadas tanto vertical como horizontalmente y, dentro de ellas, la zona de recarga, el flujo subterráneo, el almacenamiento y las salidas (naturales y artificiales), obtendremos la distribución de las facies.

Además debemos tomar en cuenta otro proceso modificador representado por el aporte permanente de las aguas de riego (aguas negras), que definitivamente ha contribuido a la recarga de los mantos acuíferos y cuyos análisis químicos, al ser interpretados, corresponden también a la misma familia sódica-bicarbonatada.

Los altos contenidos de HCO₃ en las aguas analizadas apoyan lo anterior, ya que muchas sobrepasan los valores límite, indicando y confirmando que las aguas de riego (aguas negras) actúan como proceso modificador debido a la materia orgánica generadora de CO₂.

AGUAS NEGRAS

Desde principios del siglo XX, el Río Tula recibe las aguas negras del Valle de México mediante obras construidas por el hombre. Estas aguas son transportadas por el Gran Ca-

nal del Desagüe, los túneles viejo y nuevo de Tequisquiac y el emisor central (DDF, 1974). Incrementan el caudal del Río Salado, en cuyo curso aguas abajo y a través de varias presas derivadoras y canales principales y secundarios, descargan sus aguas en el Río Tula cerca del poblado de Tezontepec de Aldama. El aporte, vía emisor central, se efectúa por medio del Río El Salto, afluente del Río Tula, en el punto de salida de las aguas de la Presa Requena.

Las aguas negras, empleadas como recurso hidráulico, no como desperdicio y formando parte del Plan Hidráulico para el Valle de México, se definen como "... las aguas degradadas por su empleo en usos municipales y pecuarios, mez-

cladas o no con aguas superficiales, subterráneas o de lluvia. . .", son utilizadas para riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo, contribuyendo a su desarrollo agrícola (Publicaciones Núms. 9 y 3 de la CHCVM, 1964 y 1966).

Como se dijo en párrafos anteriores, la infiltración de estas aguas incrementó los niveles freáticos de los mantos acuíferos existentes y dio lugar a la aparición de nuevos puntos de agua, como el manantial Cerro Colorado.

Se han realizado numerosos análisis y estudios de las aguas negras en el Valle del Mezquital desde 1962, con el objeto de asegurar al máximo la utilidad requerida (CHCVM, 1964, 1966; SRH, 1967).

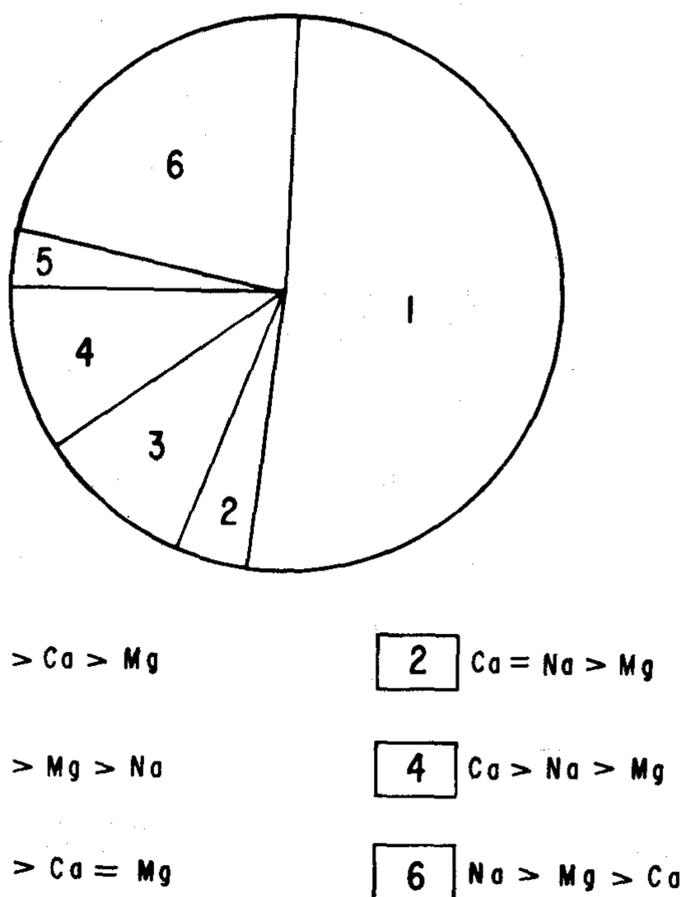
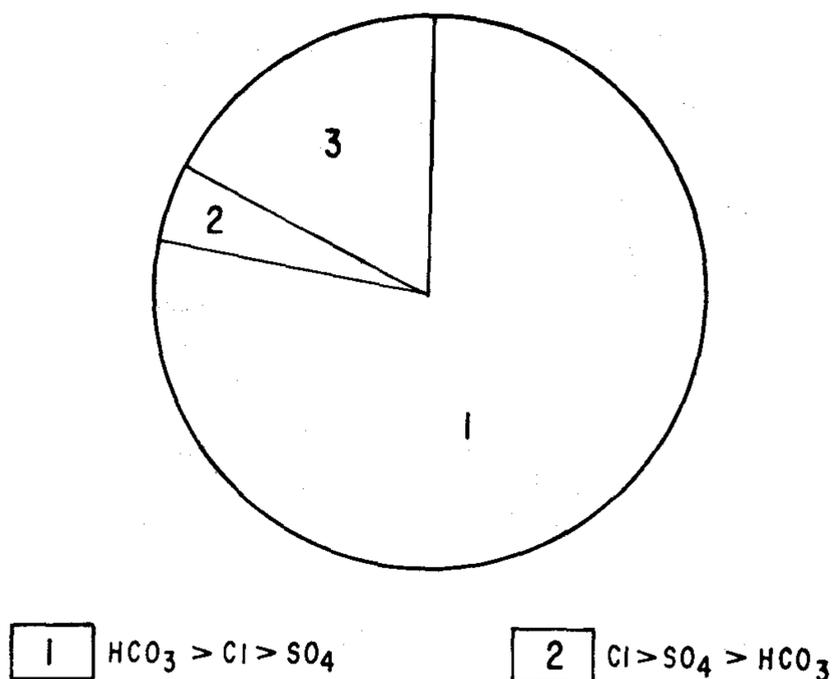


Figura 11.- Grupos hidrogeoquímicos.

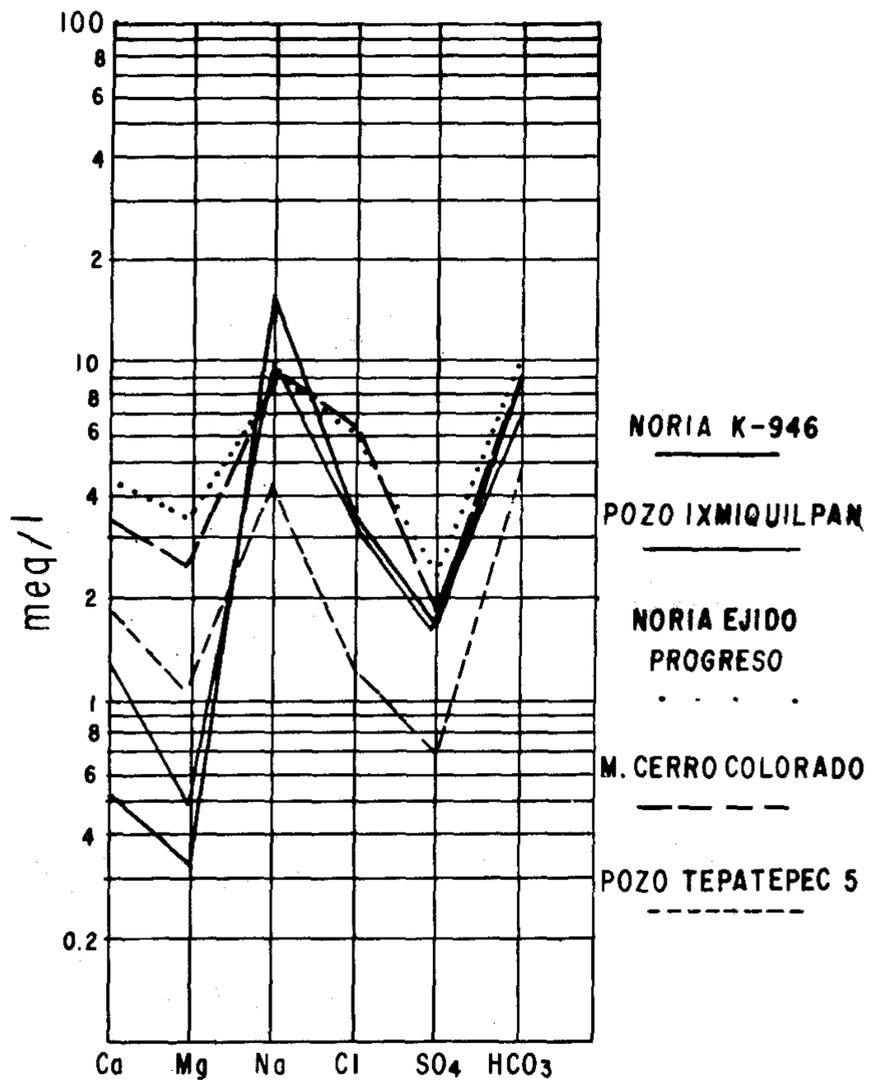


Figura 12.- Diagrama semilogarítmico mostrando las gráficas resultantes de las muestras de agua tomadas en puntos alejados entre sí y de diferente litología.

CONCLUSIONES

Se concluye la existencia de tres mantos acuíferos ligados al comportamiento hidráulico y a la estructura geológica general del área, aunque difíciles de precisar por la ausencia de datos y estudios detallados, especialmente en la zona de San Salvador dentro del Valle de Actopan. Estos estudios deberán incluir una carta de la superficie piezométrica en la que se observe la conducta de las curvas equipotenciales, para deducir zonas de recarga diferentes entre los mantos acuíferos y la existencia de conexiones hidráulicas subterráneas entre cuencas vecinas.

Los mantos acuíferos localizados en terrenos volcánicos están contaminados por las aguas de riego infiltradas, observándose con mayor intensidad al surponiente del área (Man-

gas, Huitel). El mismo fenómeno se produce con el manantial Cerro Colorado y, en menor proporción, con los mantos acuíferos localizados en terrenos sedimentarios.

A pesar de contar con más de 120 análisis químicos y su interpretación por medio de diagramas semilogarítmicos, resulta muy difícil establecer un patrón zonal comparativo de las facies hidrogeológicas, ya que éstas se presentan en forma desordenada.

En algunos análisis se observó una deficiencia de aniones con respecto a los cationes que podría deberse a la contaminación por detergentes, los cuales están constituidos por radicales orgánicos aniónicos que probablemente correspondan al exceso de cationes (E. Schroeder, comunicación escrita, 1982).

Los valores altos en el contenido de HCO_3 en algunos análisis podrían deberse a la presencia de materia orgánica generadora de CO_2 ; y los valores constantes, a la posibilidad de un equilibrio con la tensión del CO_2 de la atmósfera y del suelo agrícola (E. Schroeder, comunicación verbal).

Se considera que la alta concentración del sodio se deba al efecto de la evaporación y podrá aplicarse también a los valores encontrados del HCO_3 .

De los grupos hidrogeoquímicos establecidos, el que corresponde a la familia de agua *sódica-bicarbonatada* es el predominante en casi toda el área de estudio.

La irregularidad en los valores de sólidos totales disueltos (STD) encontrados es explicable por la presencia de las aguas de riego, que en forma permanente modifican los valores, al incorporarse por infiltración, en los mantos acuíferos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece los puntos de vista de los Dres. Z. de Cserna y M. Carrillo y del Ing. H. L. Macías-González quien, además, facilitó información valiosa. Igualmente agradece a los Dres. J. Margat y L. Monition del B.R.G.M. de Francia y W. Back del U. S. Geological Survey, por sus atinadas sugerencias y apoyo a esta clase de estudios. Los análisis químicos correspondientes a la última fase del estudio fueron realizados por la Quím. Esperanza Schroeder en los laboratorios del Instituto de Geología.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andreu, Braulio *et al.*, 1980, Estudio con técnicas isotópicas de las aguas subterráneas del Valle del Mezquital, México: Bogotá, Colombia, Interam. Symposium on Isotope Hydrology, p. 179-189.

Arad, Arnon, 1966, Hydrogeochemistry of groundwater in central Israel: Bull., I.A.S.H., 11 Année, p. 122-146.

- - - 1967, Hydrogeological investigations in the western catchment of the Dead Sea: Israel Jour. Earth-Sciences, v. 16, p. 181-196.
- Back, William, 1966, Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 498-A, p. A11-A15.
- CHCVM, 1964, Clasificación y definición de términos relativos al agua y sus usos en la cuenca del Valle de México: Publicación núm. 9, p. 35-52.
- - - 1966, Lineamientos generales de El Plan Nacional Hidráulico para la cuenca del Valle de México (Alternativa 1960-1990) Publicación núm. 3, p. 28-30.
- Del Arenal, Rodolfo, 1962, El uso del diagrama semilogarítmico para la representación gráfica de los análisis de agua: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geofísica, Anales, v. 8, p. 81-95.
- - - 1978, Carta hidrogeológica del área Actopan-Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 2, p. 98-103.
- D.D.F., 1974, Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal: t. 3, p. 23-32.
- Fries, Carl, Jr., 1962, Hoja Pachuca 14Q-e(11), con Resumen de la geología de la Hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100,000, mapa con texto.
- Payne, B. R., 1975, La interacción del agua de riego con el agua subterránea y el Río Tula en el Valle del Mezquital, Hgo.: Informe final de la Sección de Hidrología Isotópica de la OIEA para la SARH, p. 12-17.
- Schoeller, Henri, 1956, Géochimie des eaux souterraines; application aux eaux des gisements de pétrole: Revue de l'Institut Français du Pétrole et Annales des combustibles liquides, p. 128-130.
- - - 1963, La classification géochimique des eaux: Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, publication num. 64, p. 60-67.
- S.R.H., 1967, El uso del agua negra para riego en los valles de México y de El Mezquital, Hgo.: Dirección General de Distritos de Riego, Dirección de Estadísticas y Estudios Económicos, Memorandum Técnico núm. 252, p. 24-27.
- Stretta, E.J.P. 1961. Exemple de prospection hydrogéologique au Mexique basée sur la géochimie des eaux: Assoc. Internal. Hydrogéologie Scientifique, Publication num. 56, p. 35-38.
- Stretta, E.J.P. y del Arenal, Rodolfo, 1961, Carte hydrogéologique provisoire du bassin de San Luis Potosí, S.L.P., Mexique: Mém. Assoc. Internal. Hydrogéologues, t. 4, p. 53-56.