

CARTA HIDROGEOLOGICA DEL AREA DE ACTOPAN-IXMIQUILPAN, ESTADO DE HIDALGO

Rodolfo del Arenal *

RESUMEN

Muy poco se ha hecho en México en materia de cartografía hidrogeológica, por lo que se considera muy importante tratar de agrupar los datos relacionados con el origen, zonas de recarga, circulación, distribución y ocurrencia de las aguas subterráneas en una carta que permita, de esta manera, tener una visión más amplia y objetiva de ellos. Sobre el particular, el autor trata de exponer algunas ideas acerca del manejo y disposición de dichos datos, que por sus características queden comprendidos dentro de las cartas hidrogeológicas y aprovechar las cartas geológicas levantadas por el Instituto de Geología, para que de esta forma se haga un primer intento en la confección de este tipo de cartas.

La elaboración de las cartas hidrogeológicas permite agrupar en un mapa geológico las principales características geológicas de una región, en relación con las características hidrogeológicas (porosidad y permeabilidad). Además, en función de los datos aportados por los diversos puntos de agua naturales y artificiales y con el conjunto de información obtenida, la carta proporciona una idea más organizada y completa de la hidrogeología general de una determinada región.

El área de la carta hidrogeológica Actopan-Ixmiquilpan se localiza en la parte suroccidental del Estado de Hidalgo, con una superficie de 2,200 km², quedando comprendida en el denominado Valle del Mezquital.

Por limitaciones en el formato de la publicación, se presenta el mapa geológico y la carta hidrogeológica por separado. En la carta hidrogeológica se muestran las características hidrogeológicas de los terrenos, señalando las formaciones que se consideran permeables e impermeables, y en función de ello, la presencia y/o ausencia de aguas subterráneas en distintas áreas.

RESUME

Peu de choses ont été faites au Mexique en matière de cartographie hydrogéologique, c'est pourquoi il est très important d'essayer de regrouper les données concernant l'origine, les zones d'alimentation, la circulation, la distribution et l'apparition des eaux souterraines sur une carte qui permette d'avoir une vision plus ample et plus objective de ces faits. A ce sujet, l'auteur expose quelques idées sur l'exploitation et la représentation de ces données qui doivent figurer sur les cartes hydrogéologiques, en utilisant les cartes géologiques levées par l'Institut de Géologie afin de faire une première tentative de réalisation de ce type de cartes.

L'élaboration des cartes hydrogéologiques permette de regrouper sur une carte géologique, les principales caractéristiques géologiques d'une région en relation avec les caractères hydrogéologiques (porosité et perméabilité) en fonction des données fournies par les points d'eau naturels et artificiels. L'ensemble des informations obtenues donne une idée plus ordonnée et complète de l'hydrogéologie générale d'une région donnée.

L'aire couverte par la carte hydrogéologique Actopan-Ixmiquilpan, d'une superficie de 2,000 km² se trouve dans le sud-ouest de l'Etat d'Hidalgo, dans le Valle del Mezquital.

Du fait du format de la publication, la géologie est présentée à part de la carte hydrogéologique. La carte hydrogéologique montre les caractéristiques hydrogéologiques des terrains, en indiquant les formations considérées comme perméables et imperméables et, en fonction de cela, la présence et/ou l'absence d'eaux souterraines dans différents secteurs.

INTRODUCCION

Hasta el momento de la elaboración de este artículo, que dió como resultado la carta que se presenta, sólo se conoce la existencia de una similar, denominada Carta Geohidrológica de San Luis Potosí, S.L.P. (Stretta y del Arenal, 1961), publicada en México como edición preliminar, y presentada en el mismo año en la Reunión de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos celebrada en Roma, Italia.

Existe un sinnúmero de estudios hidrogeológicos de reconocido valor e importancia pero lejos de constituir en sí una carta hidrogeológica, ya que ésta, por definición y de acuerdo con Ambroggi y

Margat (1960) "... es la representación cartográfica —del estado físico— de las aguas subterráneas colocadas en su marco geológico..."

Por lo anterior, no se pretende restar importancia a los estudios de carácter geo o hidrogeológicos realizados por instituciones oficiales y compañías particulares, cuyos resultados obtenidos son muy importantes ya que, en principio, constituyen la base para la elaboración de las cartas hidrogeológicas.

En la actualidad, por la infinidad de problemas que se presentan relacionados con el origen, zonas de recarga, circulación, distribución y ocurrencia de las aguas subterráneas, se considera muy importante tratar de agrupar las series de datos referidos a ellas, en una carta que permita, de esta forma, tener una visión más amplia y objetiva de dichos problemas. Sobre el particular, el autor trata de exponer algunas ideas acerca del manejo y disposición de datos hidrogeológicos básicos que, por

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México 20, D. F.

sus características, queden comprendidos dentro de las cartas hidrogeológicas y aprovechar las cartas geológicas levantadas por el Instituto de Geología, para que de esta manera se haga un primer intento en la elaboración de este tipo de cartas.

Muy poco, en realidad, se ha hecho en México en materia de cartografía hidrogeológica. Posterior a la Carta Geohidrológica de San Luis Potosí, S.L.P. (Stretta y del Arenal, 1961), apareció un artículo sobre las características hidrogeológicas de la región de Villa Hidalgo, S.L.P. (Medina-Rivero, 1965), acompañado por una carta a escala 1:100,000, que contiene un conjunto de datos representados principalmente por el inventario de los puntos de agua y la red piezométrica correspondiente.

García-Calderón (1976) llevó a cabo una investigación hidrogeológica de la región de El Cardito, Zacatecas, y utilizando la geología por él levantada, elaboró a escala 1:100,000, el correspondiente mapa hidrogeológico. En dicho mapa con-signa principalmente las formaciones que actúan como acuíferos y acuícludos, las direcciones del movimiento de las aguas subterráneas, los límites de las cuencas, las isoyetas e isotermas, los contactos hidrogeológicos y establece lo que llama unidades hidrogeológicas.

Del Arenal y Nájera (1977) realizaron un estudio hidrogeoquímico del área Soledad-Las Estacas, Municipio de Mina, Nuevo León, cuyo objetivo era determinar cualitativamente sus características hidrogeológicas, señalándolas en función de la permeabilidad e impermeabilidad de las rocas aflorantes, así como la posición y potencialidad de los acuíferos existentes. En el mapa hidrogeológico a escala de 1:100,000 que presentan, indican dichas características.

La Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), actualmente Dirección (DETENAL), inició en 1976 un proyecto para dar a conocer las características hidrogeológicas de México por medio de cartas, tanto para las aguas superficiales, como para las subterráneas, tomando como base sus propios levantamientos y estudios, complementados por información de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). La carta que dió a conocer recientemente en presentación provisional, fue la carta hidrogeológica del Estado de Aguascalientes, a escala de 1:250,000. Esta carta comprende dos hojas; una se refiere a las aguas superficiales, y la otra a las aguas subterráneas. Actualmente y tomando en cuenta la serie de observaciones y puntos de vista de personas e instituciones, DETENAL está preparando, a la misma escala, las hojas Matehuala y Fresnillo (en proceso de edición), Zacatecas (en revisión) y San Luis Potosí (trabajo de campo).

OBJETIVOS DE UNA CARTA HIDROGEOLOGICA

La elaboración de las cartas hidrogeológicas permite agrupar en un mapa geológico, las principales características geológicas de una región (naturaleza de los terrenos, secuencia estratigráfica, rasgos estructurales y geomorfológicos), en relación con las características hidrogeológicas presentes (porosidad y permeabilidad), en función de los datos aportados por los diversos puntos de agua, naturales y artificiales existentes. Los datos así integrados permi-

ten establecer distinciones entre los diferentes terrenos y delimitar las cuencas hidrogeológicas.

Una carta hidrogeológica elaborada con el conjunto de datos obtenidos de diferentes fuentes y de una manera integrada, permite dar una idea en forma organizada y completa, de la hidrogeología general de una determinada región (mantos acuíferos, caudales, profundidades de los niveles estáticos y dinámicos, dirección de flujos subterráneos, calidad del agua, etc.), traduciéndose esto en una mayor comodidad para la planeación de estudios complementarios y otros de investigación específica.

Es necesario subrayar que la meta principal de este tipo de cartografía es la unificación de criterios, tanto para el uso de los datos de que se disponga como para las finalidades encomendadas. Esto implica que, mientras para una institución puede ser de mayor utilidad tener, por ejemplo, zonas perfectamente delimitadas en función de valores de permeabilidad y transmisibilidad, para algunas otras quizás sea más importante conocer simplemente zonas de acumulación del agua subterránea y calidad de la misma.

El presente autor está de acuerdo con la recomendación de H. L. Macías (comunicación escrita, IX/21/77), en cuanto a un patrón para las cartas hidrogeológicas que agrupe con claridad los seis grandes grupos siguientes: (1) — rasgos o estructuras del terreno (aspecto geomorfológico), (2) — composición de los rasgos (aspecto litológico), (3) — características hidrogeológicas (permeabilidad, impermeabilidad, semiconfinante, confinante), (4) — características geohidrológicas (gastos (Q), permeabilidad (K), transmisibilidad (T), coeficiente de almacenamiento (Sy), extensión superficial (m²), espesor (b)), (5) — funcionamiento (acuífero, acuícludo, acuífugo, zona de recarga, zona de almacenamiento) y (6) — calidad de agua.

Independientemente de la diversidad de criterios que puedan presentarse, el autor considera establecer un marco general para las cartas hidrogeológicas, que permita el manejo e interpretación rápida de los datos que contengan.

LEYENDA DE LA CARTA HIDROGEOLOGICA

La cantidad de datos cartografiados relativos a las aguas subterráneas es tan grande, que sería indispensable establecer tipos de cartas hidrogeológicas muy diversos. Esto quiere decir que la elaboración de las cartas hidrogeológicas dependerá fundamentalmente de los datos disponibles y formar con ellos la leyenda, considerando que muchas veces se dispone solamente de información y datos limitados y será necesario por lo tanto, para aprovechar mayormente la utilidad de una carta hidrogeológica, "diseñar" esta leyenda en una forma más práctica y objetiva.

BASES TOPOGRAFICA Y GEOLOGICA

Se optó por emplear como base topográfica para las cartas hidrogeológicas las hojas del Departamento Cartográfico Militar de la Secretaría de la Defensa Nacional, utilizando solamente, para este caso, las curvas de nivel maestras con equidistancia de 250 m.

Las cartas hidrogeológicas estarán ligadas con las hojas geológicas del Instituto de Geología a la cienmilésima, que a su vez siguen el fraccionamiento del Departamento Cartográfico Militar de la Secretaría de la Defensa Nacional; y para la topografía, toponimia, orografía, hidrografía y almacenamiento, se utilizarán las hojas de la DETENAL simplificadas y reducidas.

DESCRIPCION GENERAL DE LA CARTA HIDROGEOLOGICA DE LA REGION ACTOPAN-IXMIQUILPAN

El área de la carta hidrogeológica se localiza en la parte suroccidental del Estado de Hidalgo, con una superficie de aproximadamente 2,200 km², y queda comprendida en su totalidad dentro del denominado Valle del Mezquital. Sus coordenadas geográficas son: 20°00' a 20°30' latitud norte y 98°55' a 99°20' de longitud oeste (Figura 1).

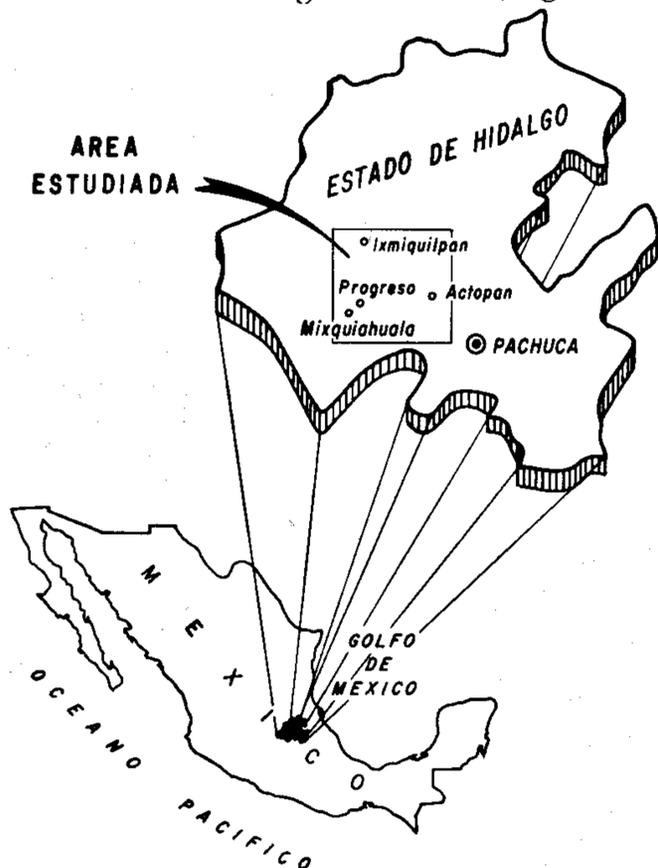


Figura 1.—Mapa de localización.

El objeto de presentar el mapa geológico por separado en este artículo es por las limitaciones que impone el formato de la presente publicación. La carta geológica muestra las características geológicas que permiten una visión rápida de las diferentes formaciones aflorantes, su edad y estructuras (Fries, 1962), correspondientes a las formaciones consideradas como acuíferos (Figura 2).

En la carta hidrogeológica, se muestran en un fondo topográfico, formado por las curvas de nivel maestras con equidistancia de 250 m, por la red hidrográfica y por las direcciones de los escurrimientos superficiales importantes, el inventario de los puntos de agua naturales y artificiales estudiados y de los cuales se tenía conocimiento, así como las direcciones inferidas de los flujos del agua subterránea, los principales poblados y sus redes de comunicación (Figura 3).

Los contactos geológicos entre las formaciones agrupadas en función de su permeabilidad e impermeabilidad, permiten indicar las características hidrogeológicas de los terrenos aflorantes, específicamente en lo que se refiere a su permeabilidad y los

recursos en agua en función de ella. Se muestra la posición estratigráfica de las formaciones agrupadas, utilizando una simbología (simbología convencional para la litología y recursos acuíferos por ausencia de colores), y formando un cuadro al que se ha denominado "Formaciones geológicas — Propiedades de los acuíferos".

En esta carta están consignados todos los datos hidrogeológicos que se pudieron obtener en un fondo general topográfico, hidrográfico y geológico, discriminando en ésta las edades de las formaciones aflorantes, agrupados en función exclusivamente de su permeabilidad, y señalando, por lo tanto, la presencia y/o ausencia de aguas subterráneas en distintas áreas.

Igualmente se señala la localización de los puntos de agua naturales, representados por los manantiales y los ríos permanentes y afluentes correspondientes, al igual que los puntos de agua artificiales, representados por pozos comunes y norias, presas y canales, así como la delimitación de la cuenca hidrográfica superficial. Además se indica, de una manera general, la dirección del escurrimiento subterráneo sin incluir la piezometría por falta de datos y, por lo mismo, no se muestran las características geohidrológicas, representadas por los valores de la permeabilidad, transmisibilidad, coeficiente de almacenamiento y gastos promedio. Se indican, sin embargo, los pozos artesianos y su zona de emergencia.

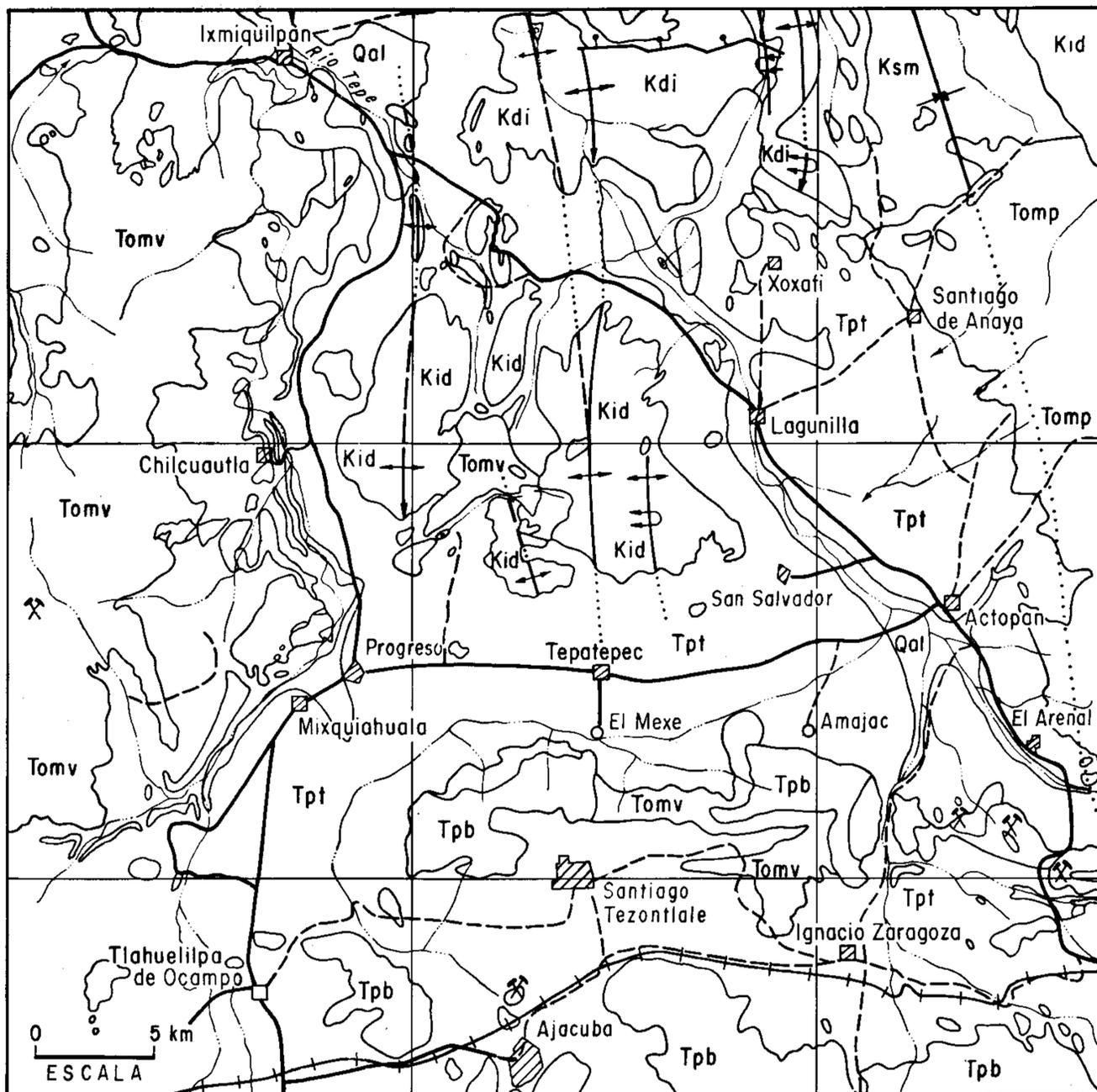
HIDROGRAFIA Y GEOLOGIA GENERAL

Hidrografía.—La corriente principal la forma el Río Tula, cuyo curso superior se conoce con el nombre de Río Tepeji, que descarga sus aguas, a la altura del poblado Tepeji, en la Presa Requena. Río abajo, al poniente del poblado de Tula, sus aguas son almacenadas por la Presa Endó, y ya con el nombre de Río Tula, continúa hacia el norte del área de estudio, donde, en las cercanías de Ixmiquilpan, se le une el Río Actopan. Este río, de cabeceras muy diversificadas, toma su nombre del poblado en donde todas las aguas forman el cauce principal después de descender de las sierras de Pachuca y Chicavasco.

El Río Tula desemboca al Río San Juan en las cercanías de Zimapan y, con el aporte del Río Hondo, constituye el Río Moctezuma. Este río es uno de los afluentes más importantes del Río Pánuco, que desemboca en el Golfo de México.

Geología general.—Según la clasificación de Raisz (1964), el área de la carta hidrogeológica pertenece a la provincia denominada Mesa Neovolcánica, formando un amplio valle dividido por serranías y cerros separados y aislados. La mayor parte de estas elevaciones están constituidas principalmente por rocas volcánicas, pero existen otras sobre todo en la parte central del área, formadas por rocas sedimentarias marinas. En general, la topografía es uniforme, con un relieve entre el punto más alto al más bajo, del orden de 500 m.

Al área de la carta hidrogeológica subyacen rocas sedimentarias y volcánicas (Figura 2). Las rocas más antiguas que afloran son calizas marinas del Cretácico Inferior y Superior, siendo las más jóvenes, el material de relleno constituido por aluviones y materiales clásticos del Reciente.



Dibujó L. Burgos P.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

LEYENDA

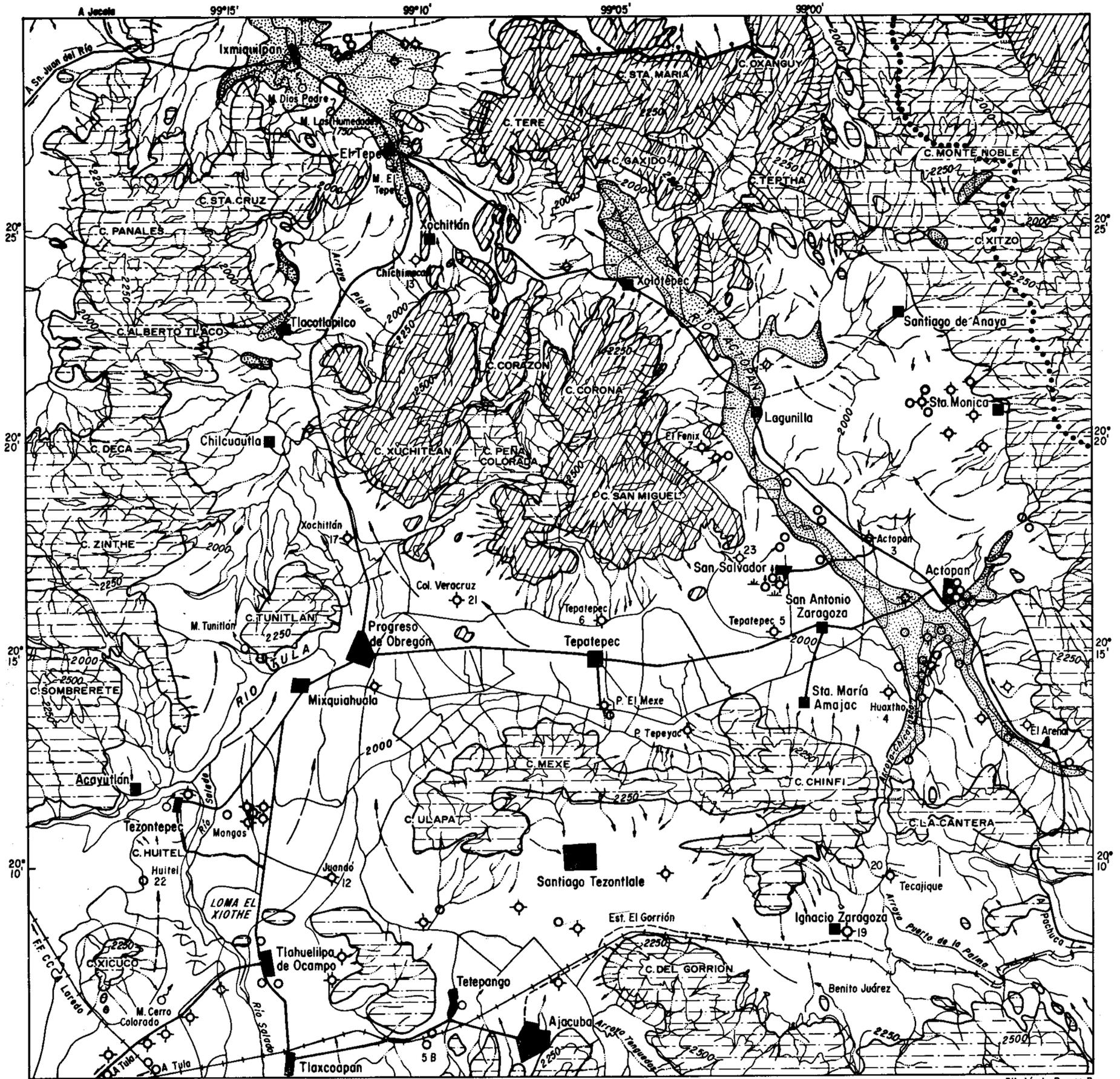
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Ksm	Formación Mexcala.—Capas interestratificadas de lutita, limolita, areniscas y calizas de origen marino.
		INFERIOR	Kss	Formación Soyatal.—Calizas con intercalaciones de arcilla y nódulos de pedernal
	TERCIARIO	EOCENO	Teom	Grupo El Morro.—Conglomerados de caliza. Derrames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

SIMBOLOS



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 Actopan-Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo. Geología adoptada de Fries (1962).



Dibujó: L. Burgos P

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS
SIMBOLOS

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	[Symbol: Dotted pattern]
PLIOCENO	Material clástico predominante con lentes locales de ceniza volcánica y derrames de lava.	MEDIANA	[Symbol: White box]
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	[Symbol: Horizontal dashed lines]
CRETACICO	Calizas marinas y capas dolomíticas	MEDIANA Y DEBIL	[Symbol: Diagonal hatching]

TOPOGRAFICOS

- [Symbol: Solid black square] Poblado
- [Symbol: Solid black line] Carretera pavimentada
- [Symbol: Dashed line] Camino vecinal
- [Symbol: Line with cross-ticks] Ferrocarril
- [Symbol: Wavy line] Curva de nivel
- [Symbol: Wavy line with '2000'] 2000
- [Symbol: Scale bar 0-5 km] 0 1 2 3 4 5 kilómetros

HIDROGRAFICOS

- [Symbol: Solid line with wavy edges] Río
- [Symbol: Dashed line with wavy edges] Arroyo
- [Symbol: Wavy line with dots] Manantial
- [Symbol: Arrow with wavy edges] Dirección de flujo subterráneo
- [Symbol: Wavy line with vertical ticks] Zona pantanosa
- [Symbol: Dotted line] Divisorio hidrográfico

PUNTOS DE AGUA

- [Symbol: Circle with crosshair] Pozo
- [Symbol: Circle with vertical line] Pozo artesiano
- [Symbol: Circle] Noria
- [Symbol: Triangle with vertical line] Presa
- [Symbol: Horizontal line] Canal

BASE HIDROGEOLOGICA por: RODOLFO DEL ARENAL

Figura 3.—Carta hidrogeológica del área de Actopan-Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.

Las rocas sedimentarias marinas son, de abajo hacia arriba (Fries, 1962): la Formación El Doctor del Cretácico Inferior, y las Formaciones Soyatal y Cuautla del Cretácico Superior, que son principalmente calizas. La Formación Mexcala, del Cretácico Superior, consiste de una secuencia interestratificada de lutitas, limolitas y areniscas, con algunas capas de caliza.

El Terciario está representado por rocas clásicas continentales y por rocas volcánicas, mientras que el Cuaternario, por aluviones y material clástico.

Resultado de fuerzas compresivas, derivadas de la Orogenia Laramide, las formaciones cretácicas del área sufrieron plegamientos importantes, representados principalmente por anticlinales que en su mayoría están orientados al norte y noroeste.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS TERRENOS

Cretácico.—Las rocas que están agrupadas en esta unidad de la carta, son calizas y calizas dolomíticas de origen marino, cuya permeabilidad se considera de mediana a débil. Es decir, constituyen zonas que, en función de la naturaleza propia de la roca y su grado de fracturamiento, pueden favorecer la infiltración de las aguas de lluvia. Sus recursos acuíferos se han catalogado también como medianos a débiles, y estas rocas afloran principalmente en las partes central y septentrional del área de la carta.

Oligoceno-Mioceno.—Derrames de lava y cenizas asociadas, de composición basáltica y andesítica, y rocas volcánicas de composición que varía desde riolita hasta basalto, que localmente contienen intercaladas arcilla, limo y calizas lacustres, caracterizan al Terciario del área de la carta. Se puede considerar su permeabilidad como nula y por igual sus recursos acuíferos. Forman afloramientos relativamente aislados, principalmente en la parte meridional y en las partes nororiental, oriental, noroccidental y occidental del área de la carta.

Plioceno.—Representado predominantemente por material clástico y con lentes locales de ceniza volcánica y derrames de lava. Estos depósitos cubren la mayor parte del área de la carta con una permeabilidad no uniforme, por lo que se le considera con un valor mediano, al igual que sus recursos acuíferos.

Pleistoceno y Reciente.—Constituido por aluviones de origen fluvial y por aluviones con material clástico, con lentes locales de ceniza volcánica y calizas lacustres. Estos depósitos afloran principalmente a lo largo de las vegas del Río Actopan y en ciertos tramos del cauce del Río Tula, así como en los alrededores de la población de Ixmiquilpan. Su permeabilidad se considera elevada, lo mismo que sus recursos acuíferos.

MANTOS ACUIFEROS

Las formaciones que se consideran permeables están representadas por los aluviones cuaternarios, de origen fluvial, que forman el acuífero superior o primer acuífero, cuya recarga proviene principalmente de las infiltraciones de las aguas de lluvia y riego y, en menor proporción, de alimentación lateral subterránea.

Algunos intervalos de cenizas volcánicas e intercalaciones de lava de la Formación Tarango del Cuaternario, forman el acuífero inferior, o segundo acuífero, con un rendimiento mayor que el primero, según lo demuestran los gastos de extracción reportados.

En función del tipo de litología, se considera al acuífero inferior parcial o totalmente confinado, sobre todo por no existir un depósito uniforme en los materiales que los forman.

En base a estudios hechos con anterioridad, principalmente por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1970), se infiere además la existencia de un acuífero en calizas. Las profundidades de los niveles de agua son independientes del tipo de litología, ya que se tienen pozos del orden de los 400 m, como el Actopan 3 y 4, perforados en material volcánico y el Fénix 7, con 215 m de profundidad, perforado en calizas.

FLUJO SUBTERRANEO

En el área de la carta se considera al Río Tula como el dren hidrológico principal. Por lo tanto, en función de los datos representados por la topografía, litología, profundidades de los gradientes hidráulicos y de los análisis químicos, se demuestra que el flujo general de las aguas subterráneas es de sur a norte. El Río Actopan juega también un papel importante, ya que el flujo de las aguas subterráneas dentro del área de la carta, se manifiesta del sur y oriente hacia el norte, en donde los ríos mencionados, Tula y Actopan, a la altura de Ixmiquilpan, confluyen determinando el flujo general de las aguas subterráneas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ambroggi, R. P., y Margat, Jean, 1960, *Légende générale des cartes hydrogéologiques du Maroc: Assoc. Internal. d'Hydrologie Scient., Publ. 50, 31 p.*
- Del Arenal. Rodolfo y Nájera-G., Jesús, 1977, *Estudio hidrogeoquímico del área Soledad-Las Estacas, Municipio de Mina, Nuevo León: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 1, p. 92-98.*
- 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.*
- García-Calderón, Jorge, 1976, *Investigación hidrogeológica de la región de El Cardito, Zacatecas: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 98, 101 p.*
- HIDROTEC, 1970, *Estudio geohidrológico del Valle del Mezquital y zonas adyacentes: México, D. F., Secretaría de Recursos Hidráulicos, Direc. Aguas Subterráneas, informe inédito.*
- Medina-Rivero, Flavio, 1965, *Carta hidrológica de Villa Hidalgo, S. L. P.: Univ. Autón. San Luis Potosí, Geología y Metalurgia t. 2, n. 13, p. 52-63.*
- Raisz, Erwin, 1964, *Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., mapa, escala 1:3,000,000, 2a. ed.*
- 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. IV, p. 53-56.*