

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO - GEOFÍSICO

EN EL PROYECTO DENOMINADO

" EL SUEÑO MILENARIO OTOMI",

EJIDOS: BOXAXNI Y XUCHITLÁN

**DEL MUNICIPIO DE SAN SALVADOR,
PUEBLO NUEVO Y TAXHADO**

DEL MUNICIPIO DE IXMIQUILPAN,

ESTADO DE HIDALGO.

FEBRERO DEL 2010

¡Error! Argumento de modificador desconocido.

C O N T E N I D O

I.- INTRODUCCIÓN

II.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.1.- Resumen

II.2.- Conclusiones

II.3.- Recomendaciones

III.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

III.1.- Localización, extensión y vías de comunicación.

IV.- GENERALIDADES

IV.1.- Climatología

IV.2.- Hidrología

IV.3.- Piezometría

V.- GEOLOGÍA GENERAL

V.1.- Unidades litológicas

V.2.- Geología estructural

V.3.- Geomorfología

V.4.- Riesgo Geológico

VI.- CENSO DE MANIFESTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES

VI.1.- Manantiales

VI.2.- Pozos

VII.- GEOFÍSICA

VII.1.- Interpretación

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

I.- INTRODUCCIÓN

El C. Carmelo Pérez Pérez, Presidente del Consejo de Administración de la S.C. de R.L. de C.V. " EL SUEÑO MILENARIO OTOMI", consiente de la gran problemática ambiental y de la gran necesidad de agua del subsuelo, para riego de las más de 1, 200 hectáreas que conforman el proyecto y que incluyen a los Ejidos de Boxaxni y Xuchitlán del municipio de San Salvador, Pueblo Nuevo y Taxadho del municipio de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo. Desean conocer las condiciones hidrológicas que guardan los terrenos de sus ejidos, con la finalidad de localizar sitios para la perforación de 4 pozos que suministren agua para riego; ya que en la actualidad todas estas tierras se encuentran sin uso o son de temporal

Por tal motivo, encomendó al Grupo Consultor Cubic Meters Water Services la realización de un estudio Geohidrológico - Geofísico, que establezca las condiciones físicas, estructurales e hidrológicas del subsuelo.

Inicialmente el estudio se planteó en un área de 64 Km², donde se incluyeron los terrenos de los cuatro ejidos; sin embargo, el estudio se amplió al sureste, con la finalidad de conocer el manantial de San Salvador y el cauce del río Chicavasco y Gaxido.

II.- RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

II.1.- Resumen

El estudio hidrogeológico cubrió una superficie de 64 km², como puntos de referencia se tienen las poblaciones de Taxadho, Boxaxni, Pueblo Nuevo, Xuchitlán y los terrenos de la mesa El Tablón; los Cerros La Zorra, La Flor, Guadril y Tehemboho. Se amplió regionalmente el recorrido de campo hacia el Sur y Sureste, hacia la población de San Salvador. Con la finalidad de tener mayor información de los aprovechamientos de agua de la zona.

Durante el levantamiento de campo se definieron las siguientes actividades: geología superficial, análisis estructural dentro de los terrenos de los ejidos, poblaciones y en toda el área, características hidrológicas de las rocas, censo de puntos de agua (pozos y manantiales) y sus condiciones actuales.

En el estudio geofísico se realizaron 11 Sondeos Eléctricos Verticales mediante el dispositivo tetraelectrónico Schlumberger, con aperturas electrónicas máximas de AB = 2,000 metros. Los Sondeos Eléctricos Verticales se ubicaron con un criterio geológico, ya que el área a cubrir es muy extensa.

En la zona de estudio, en las partes bajas, el riego en la actualidad es a través de las aguas negras o residuales que provienen de la Ciudad de Mexico y solo existe el cultivo de alfalfa que es capaz de soportar este tipo de agua. El riego de estas aguas, lleva en la zona un periodo entre 15 y 25 años, por lo que algunas parcelas regadas con esta agua ya no producen ningún tipo de cultivo. Ya que provocan en su superficie una alta salinidad y lo más lamentable es que se infiltran al subsuelo y alteran el acuífero de la región.

II.2.- Conclusiones

La zona de estudio constituye una mesa alargada denominada Mesa El Tablon, con valles en sus bordes de forma plana, poco escarpada y solo en sus partes laterales presenta una topografía abrupta, conformada por derrames volcánicos de tipo Tobaceo pertenecientes a la Formación Tarango y Atotonilco El Grande.

Las zonas norte y sur están constituidas por rocas sedimentarias calizas con elevaciones promedio entre 2,200 y 2,300 msnm, estas rocas pertenecen a la Formación El Doctor de edad Cretácica. Además se caracteriza por presentar grandes cerros que dan origen a sierras alargadas y alineadas de Noroeste a Sureste, de Norte a Sur y están representadas por los cerros: Guadril de 2,200 msnm, Cerro Tehemboho de 2,100 msnm; Cerro La Cruz de 2,300 msnm y Mesa El Tablon de 1,900 msnm.

Se determinó la existencia de un acuífero alojado en tobas, tobas pumicíticas, arenas, aglomerados y brechas volcánicas con espesores mayores a los 300 metros, que se encuentra sub explotado. La recarga de este acuífero es a través del exceso de agua de los manantiales de San Salvador

Las rocas presentes en las zonas de cultivo de los ejidos de Boxaxni, Xuchitlán, Pueblo Nuevo y Taxadho, corresponden a rocas volcánicas constituidas por aglomerados volcánicos, arenas, gravas, tobas y brechas, cuya constitución las hace muy permeables y sobre de ellas se vierten las aguas residuales de las poblaciones, por lo que se infiltrarán rápidamente aguas abajo y alteran la calidad de agua del acuífero de la zona.

Actualmente uno de los grandes daños ecológicos que se presentan en la zona, es que existen un gran número de canales que transportan el agua negra de la ciudad de México y con ella riegan las parcelas de los ejidos que se encuentran en las partes bajas, Esta agua que transita por los canales, ha regado las parcelas durante un periodo entre 15 y 25 años y solo se siembra en la actualidad alfalfa, por lo que los suelos han adquirido una alta salinidad proveniente de las aguas negras y la mayoría de los suelos han perdido sus características minerales, sobre todo en las partes bajas.

Los pobladores de los ejidos, comentan que la tubería de ademe de sus pozos se corroe muy rápido y las tuberías de sus casas se dañan y perforan con el agua del pozo (POZO TAXADHO). Por lo que se considera que las aguas presentes en la zona son corrosivas, por lo que los sistemas de conducción de fierro deberán de cambiarse por PVC. De igual forma, en el diseño del pozo se deberá de tomar en cuenta lo anterior, con la finalidad de evitar la corrosividad y disminuir la incrustación.

Desde el punto de vista acuífero existe una capa de gran interés: Se muestra de los 51 a los 94 metros de profundidad para el SEV-1; de los 12 a los 72 metros de profundidad para el SEV-2; de los 56 a los 461 metros de profundidad para el SEV-3; de los 36 a los 502 metros de profundidad para el SEV-4; de los 74 a los 424 metros de profundidad para el SEV-5; de los 68 a los 322 metros de profundidad para el SEV-6; de los 14 a los 98 metros de profundidad en el SEV-7, de los 8 hasta los 209 metros de profundidad para el SEV-8, de los 7 a los 83 metros de profundidad para el SEV-9 y de los 14 a los 254 metros de profundidad para el SEV-10.

De lo anterior, los sitios que presentan las mejores características acuíferas para poder perforar pozos exploratorios son: Los lugares en donde se realizaron los SEV's 3, 4, 5, 6 y 8.

II.3.- Recomendaciones

1.- Es recomendable realizar una perforación exploratoria en el sitio en donde se realizó el SEV-3 (límite de los ejidos Boxaxni, Xuchitlán y Cañada Chica) a una profundidad de 300 metros, con el objetivo de penetrar la capa de interés acuífero desde los 56 a los 300 metros de profundidad.

2.- Es recomendable realizar una perforación exploratoria en el sitio en donde se realizó el SEV-4 (límite de los ejidos Boxaxni y Cañada Chica) a una profundidad de 300 metros, con el objetivo de penetrar la capa de interés acuífero desde los 36 a los 300 metros de profundidad.

3.- Es recomendable realizar una perforación exploratoria en el sitio en donde se realizó el SEV-5 (límite de los ejidos Boxaxni y Taxadho) a una profundidad de 300 metros, con el objetivo de penetrar la capa de interés acuífero desde los 74 a los 300 metros de profundidad.

4.- Es recomendable realizar una perforación exploratoria en el sitio en donde se realizó el SEV-6 (límite de los ejidos Taxadho y Pueblo Nuevo) a una profundidad de 300 metros, con el objetivo de penetrar la capa de interés acuífero desde los 68 a los 300 metros de profundidad.

5.- Es recomendable realizar una perforación exploratoria en el límite sur de la propiedad, en el sitio en donde se realizó el SEV-8 a una profundidad de 220 metros, con el objetivo de penetrar la capa de interés acuífero desde los 8 hasta los 209 metros de profundidad.

6.- En todos los pozos las rocas que van a cortar, son una secuencia de tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas, así como arenas y gravas.

III.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

III.1.- Localización, extensión y vías de comunicación.

El área de estudio se localiza en línea recta a 12 Km al Sureste de la cabecera municipal de Ixmiquilpan, Hgo. Incluye a las poblaciones de Taxadho, El Mothe, Xuchitlán, La Flor, Ex-Hacienda de Ocotza, El Mezquital y Loma Julián Villagrán. El estudio comprende a los ejidos de Boxaxni y Xuchitlán del municipio de San Salvador y los ejidos de Pueblo Nuevo y Taxhado del municipio de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.

El área de estudio ubica en su totalidad los terrenos de los ejidos de Boxaxni, Xuchitlán, Pueblo Nuevo y Taxadho, con una superficie de 1,200 hectáreas. Se limita entre las coordenadas geográficas 20° 22' 28" - 20° 22' 31" y 20° 27' 45" - 20° 27' 47" de latitud Norte, 99° 04' 34" - 99° 04' 43" y 99° 10' 03" - 99° 10' 05" de longitud Oeste (FIGURA 1).

Como acceso principal al área de estudio se tiene la carretera federal No 85 Ixmiquilpan - Pachuca. Si se parte de la población de Ixmiquilpan, Hgo., se toma esta carretera, la cual al recorrerla por espacio de 9 kilómetros, se encuentra la comunidad de Taxadho y a escasos 3 kilómetros sobre esta misma carretera se atraviesa la denominada Loma El Tablón, que contiene la mayor área de estudio.

En el área existen gran cantidad de brechas que comunican en su totalidad a toda la zona de los ejidos.

IV.- GENERALIDADES

IV.1.- Climatología

Geográficamente se distinguen tres zona climáticas bien definidas en el estado de Hidalgo:

- Zona de climas cálidos y semicálidos de la Huasteca Hidalguense.
- Zona de climas templados de la Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico.
- Zona de climas secos y semisecos de la Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico.

Climas secos y semisecos de la Sierra Madre Oriental: Las tres variantes de este grupo climático se diferencian por el régimen térmico y el grado de humedad. Se concentran al oeste del estado, desde Ajacuba hasta Tecozautla; otros forman un corredor en dirección noroeste-sureste, desde Tlahuiltepa hasta Tulancingo, siguiendo el curso de los ríos Tulancingo y Tizahuapan.

El clima presente en el área de estudio es el seco semicálido con lluvias en verano; se manifiesta en los alrededores de Ixmiquilpan, donde cruza el río Tula y en parte de los municipios de Eloxochitlán y Metztlán, en la laguna del mismo nombre.

Su temperatura media anual es de 18.5°C, presentándose la máxima en junio con 24.7°C y la mínima en enero con 8.3°C, la precipitación total anual es de 364.6 mm; con máxima de 66.3 mm y mínima en febrero con 3.3 mm.

IV.2.- Hidrología

La zona de estudio queda comprendida en la REGIÓN HIDROLÓGICA No. 26 " Río Pánuco ", que incluye a la Cuenca del Río Moctezuma, Subcuencas del Río Tula y parte de la Subcuenca del Río Actopan (cubre parte de la región oriente del área).

El estado de Hidalgo se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la región hidrológica " Río Pánuco " (No 26).

La cuenca del río Moctezuma (26D), ocupa una superficie dentro de Hidalgo de 19, 793.60 Km² y tiene como corriente principal al río Moctezuma, que se origina en el cerro La Bufo, Estado de México, a 3, 800 msnm que en su inicio es denominado San Jerónimo. Los afluentes de esta corriente en territorio hidalguense son: el río Tizahuapan, que nace en la Sierra de Pachuca. El Mexitlán, que se origina en Puebla y deposita sus aguas en la laguna de Meztlán con el nombre de río Tulancingo, para continuar su curso hasta el Moctezuma, como río Amajac. El río Tula, generado en Estado de México, inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan, de ahí cambia su curso hacia el noroeste para después confluir con el río San Juan del Río, a partir donde recibe la denominación de río Moctezuma y funciona como límite natural entre Querétaro e Hidalgo. Tiene como subcuencas intermedias a los ríos Tula y Actopan.

Las subcuencas de los ríos Tula y Actopan presentan dentro del estado un alto índice de contaminación, ya que en ellas se sitúan canales con corrientes permanentes de aguas negras, tanto industriales como municipales, lo que trae consigo un alto índice de contaminación

En la zona de estudio la mayoría de las corrientes subterráneas y superficiales, nacen en las partes altas de los Cerros La Cruz y la gran sierra presente al sur y los grandes cerros que la conforman. En la planicie las corrientes son canalizadas al cauce de los ríos Chicvasco y Chilcuautla; descargan sus excedentes al oeste al río Tula, la mayoría de las corrientes son del tipo paralelo y subparalelo, las cuales siguen una burda alineación de Norte a Sur y de Noroeste a Sureste.

La zona centro del área de estudio constituye una amplia mesa de forma plana, denominada Mesa El Tablón, cuyos límites son muy escarpados y solo en sus partes laterales que son disectadas por los cauces de los ríos, presenta una topografía abrupta, conformada por derrames tobaceos y de rocas sedimentarias con una elevación promedio de 1,900 a 2,100 msnm.

La zona sur y norte se caracterizan por presentar grandes sierras de rocas calcáreas con elevaciones que varían de 2,100 a 2,300 msnm y están representadas por los cerros: La Cruz de 2,300 msnm, Cerro Cuadril de 2,200 msnm y Cerro Tehembojo de 2,100 msnm. Estas sierras siguen una burda alineación de Este a Oeste (E-W) y de Norte a Sur (N-S).

En la parte central del área se presentan afloramientos alargados en dirección Norte-Sur, con elevaciones promedio de 2,000 msnm. Los drenajes presentes en este tipo de rocas son de tipo dendrítico y subparalelo.

La dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio está controlado por fallas geológicas y las características permeables de las rocas presentes, esta característica física de las rocas, permite la presencia del manantial de agua potable de Taxadho el cual fluye en una falla normal de dirección Norte-Sur.

El recurso hidrológico más sobresaliente en el área de estudio, lo representa el cauce del río Chicavasco, en el cual fluyen las aguas provenientes de la Ciénega de San Salvador, situada a 16 kilómetros al sureste de la mesa El Tablón. Este cuerpo de agua limpia, pertenece a una zona de gran saturación y por capilaridad su exceso de agua lo conducen a canales y posteriormente al cauce del río donde se juntan aproximadamente más de 4 m³ los cuales irrigan todo el valle del Mezquital, desde San Salvador hasta Julián Villagran y con su desalojo a la presa de Debodhe. A este río durante su recorrido las poblaciones le vierten sus aguas negras y contaminan su calidad.

En la parte suroeste de la zona, se presenta una amplia cuenca hacia el norte, donde sus flujos siguen una dirección de sur a norte y presenta un acuífero superficial a profundidades que varían de 16 a 21 metros, con gastos entre 12 y 35 lps, lo que manifiesta una gran saturación superficial.

Las rocas presentes en las zonas de cultivo de los ejidos de Boxaxni, Xuchitlán, Pueblo Nuevo y Taxadho, corresponden a rocas volcánicas constituidas por aglomerados volcánicos, arenas, gravas, tobas y brechas, cuya constitución las hace muy permeables y sobre de ellas se vierten las aguas residuales de las poblaciones, por lo que se infiltraran rápidamente aguas abajo y alteran la calidad de agua del acuífero de la zona.

Esta agua que transita por los canales, ha regado las parcelas durante un periodo entre 15 y 25 años y solo se siembra en la actualidad alfalfa, por lo que los suelos han adquirido una alta salinidad proveniente de las aguas negras y la mayoría de los suelos han perdido sus características minerales, sobre todo en las partes bajas.

Los pobladores de los ejidos, comentan que la tubería de ademe de sus pozos se corroe muy rápido y las tuberías de sus casas se dañan y perforan con el agua del pozo (POZO TAXADHO). Por lo que se considera que las aguas presentes en la zona son corrosivas, por lo que los sistemas de conducción de fierro deberán cambiarse por PVC. De igual forma, en el diseño del pozo se deberá de tomar en cuenta lo anterior, con la finalidad de evitar la corrosividad y disminuir la incrustación.

IV.-3.- Piezometría.

En base a los niveles estáticos de 8 pozos y 1 manantial, se obtuvo la información piezométrica relativa a la profundidad de los diferentes niveles del acuífero de la zona (Fotos 12 a 22). Estos niveles ayudan a conocer la dirección del flujo del agua subterránea en el subsuelo.

La dirección del flujo superficial de toda el área es de Sureste a Noroeste, relacionada a los cuaces de los ríos que siguen una dirección de Sureste a Noroeste (SE-NW). Los ríos Chicavasco y Gaxidho captan todas las aguas superficiales y humedades de la zona de los manantiales de San Salvador. Los ríos Xuchitlán y Chilcuautla captan las aguas de los canales de riego y del flujo subterráneo superficial de la zona (FIGURA 1).

Esta dirección de flujo en su parte sur se ve interrumpida o modificada por efecto de rocas de composición caliza que forman anticlinales y sinclinales. Las rocas más jóvenes de composición volcánica arenosa, tobacea y aglomerática, las bordearon y cubrieron.

Los flujos volcánicos se encuentran fuertemente erosionados y es en ellos donde se encuentra alojado el acuífero de la zona. Estas rocas altamente permeables permiten la presencia de acuíferos de alto rendimiento, tal como lo demuestran los gastos de los pozos presentes que varían de 4 a más de 35 lps. La mayoría de los pozos son capaces de proporcionar el doble de gasto pero con sus actuales gastos cubren sus necesidades. El manantial de Taxhado tiene un gasto de 9.5 lps y fluye en una falla geológica de dirección Norte - Sur.

De la interpretación obtenida, se concluye la existencia de un acuífero alojado en tobas, tobas pumicíticas, arenas, aglorados y brechas volcánicas con espesores mayores a los 300 metros, cuyos gastos varían de 4 a 35 lps y cuya zona de recarga es de Sureste a Noroeste.

La recarga de este acuífero es a través del exceso de agua de los manantiales de San Salvador y a partir de la humedad proveniente de las partes altas, ya que en la zona existe una gran recarga de la sierra que se ubica al sur de la zona de estudio, cuya cuenca de captación es muy amplia (Fotos 16 a 17).

El pozo de agua potable de la comunidad de Taxadho, con una profundidad de 250 metros y un nivel estático a los 19.30 metros. Se encuentra fuera de uso debido a que sus encargados comentan que el agua es salada. Este pozo según pláticas, durante su aforo la calidad del agua era dulce, pero una vez que se equipó el agua salió salada, pero los análisis físico-químicos que se elaboraron solo fueron para agua potable, sin contar con metales pesados o corrosividad; por lo que deberá de estudiarse a fondo este pozo para su aprovechamiento (Foto 22).

Lo anterior indica que en la zona solo existe un acuífero alojado en los productos volcánicos de la Formación Tarango y Atotonilco El Grande (Tpt); en el cual se sitúan los pozos de Ex-Hacienda de Ocotza, La Flor, Mothé y Ejido Cerrito Mezquital Agua Potable. Este acuífero se encuentra sub explotado y es conveniente aprovecharlo para beneficio de lo habitantes de la zona.

V.- GEOLOGÍA

V.I.- Unidades Litológicas

El área de estudio se sitúa dentro de las Provincias del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental.

Las características físicas de las rocas que afloran en la zona se relacionan estrechamente a su origen y a los procesos tectónicos posteriores, que disminuyeron o aumentaron su permeabilidad (Fotos 23 a 39).

En la FIGURA 1 se pueden observar las unidades litológicas que han sido cartografiadas y que conforman el marco geológico del área de estudio, que cubrió una superficie de 64 Km². Las rocas son principalmente de origen sedimentario e ígneo extrusivo cuya edad fluctúa del Cretácico Inferior - Piloceno Superior.

Formación Caliza El Doctor (Kmd) .- Su localidad tipo es en el distrito El Doctor, situado a 25 km al poniente de Zimapán, Hgo.; ahí se distinguieron cuatro facies: Facie La Negra, constituida de estratos de caliza de 10 a 20 cm de espesor, con pseudoestratos de pedernal negro de 1 a 10 cm. Facie San Joaquín constituida por calizas grises de estratificación gruesa y abundantes nódulos de pedernal negro. Facie El Socavón, que consiste principalmente de calcarenita de estratificación gruesa y conglomerados de grava fina, con cantidades considerables de coquina clástica. Facie Cerro Ladrón, caracterizada por grandes masas lenticulares de caliza en forma de banco cubiertas por rocas volcánicas del Terciario (Fotos 23 a 28 y 30).

Esta unidad de rocas forman parte de la Sierra Madre Oriental y afloran ampliamente al Norte y Sur del área y a ambos lados de la carretera federal Ixmiquilpan - Actopan, donde se observan remanentes y gruesos bancos de calizas de espesores medianos, con intercalaciones de capas delgadas de lutitas. Casi todas las calizas son de grano fino y carecen de fósiles, pero en algunos lugares abundan microfósiles como rudistas y gasterópodos; estas calizas corresponden aparentemente a la Facie Cerro Ladrón.

En las faldas del Cerro Guadril situado al norte del área, las calizas se presentan estratificadas y plegadas en un rumbo 30° al norte. De igual forma se aprecian calizas en bloques de más de 2 m de diámetro. Estos basculamientos forman parte de los flancos de los anticlinales presentes en la zona. Sobre la carretera las calizas estratificadas de banco, se encuentran cubiertas por brechas calcáreas de más de 50 metros de espesor. Éstas brechas se encuentran fracturadas en un rumbo NE 50° y basculadas 76° al SW.

Al SE de Ixmiquilpan, presentan un espesor que varía de 100 a 300 metros. En general la caliza El Doctor es muy resistente a la erosión y tiende a formar grandes montañas arredondeadas con flancos suaves en su etapa de madurez. Esta caliza es en gran parte del Albiano Medio al Cenomaniano Inferior (Cretácico Medio - Superior) y se correlaciona con la formación El Abra, de la cuenca Tampico-Mizantla y con la Formación Morelos al sur, descansa en discordancia con la Formación Las Trancas.

Hidrologicamente, esta unidad presenta una permeabilidad que varía de moderada a alta, debido a su gran fracturamiento superficial, lo que se considera buena transmisora del agua hacia el subsuelo.

Derrames de tobas, tobas pumicíticas, gravas, arenas, aglomerados volcánicos, brechas, arenas y cenizas volcánicas de la Formación Tarango y Atotonilco El Grande (Tpt).- Se considera del Plioceno Superior-Cuaternario Inferior (Segestron, 1961) (FIGURA 1) (Fotos 29 a 36 y 38 a 39); afloran ampliamente en la parte central del área de estudio, en el camino Tasquillo - Zimapán, al noreste de Ixmiquilpan. Rellenan los bajos topográficos, cubren las faldas de los cerros montañosos y forman altos aislados en forma de mesetas y lomas alargadas (Mesa El Tablón). Se ha determinado como una secuencia de productos volcánicos, cuya parte superior está constituida por una secuencia de estratos de tobas arenosas, tobas cristalinas y tobas pumicíticas, donde en algunos afloramientos se observa que las poméas son totalmente redondeadas por procesos erosivos en agua. Le subyacen estratos intercalados de arenas y cenizas volcánicas con pseudoestratificación y en la zona del banco de material de Boxaxni, se observa estratificación cruzada por efecto de los vientos y flujos de agua, en estos estratos además se observa una granulometría selectiva de gruesos a finos. En la parte inferior se observan capas de conglomerados y aglomerados de material volcánico de tamaños variables, con la inclusión de pequeños trozos de roca, todo ello cementado en una matriz de ceniza, que provoca que la parte superficial de esta formación sea de baja permeabilidad. Esta capa presenta en algunas ocasiones fragmentos de roca subredondeados, lo que manifiesta una transportación hacia las partes bajas.

Los fragmentos aglutinados dentro de las masas de roca son de composición principalmente andesítica, aunque se presentan en menor proporción rocas riódacíticas, calizas y riolitas.

En estos flujos se encuentran estratos intercalados de brechas volcánicas en diferentes niveles. La parte media de la secuencia se encuentra constituida por tobas pumicíticas, arenas y cenizas volcánicas, que incluyen grandes fragmentos de rocas andesíticas principalmente y cuyos espesores entre capas varía de 1 a 20 metros (Fotos 38 a 39).

De igual forma dentro de estas capas, se encuentran intercalados estratos delgados de arenas volcánicas, brechas y conglomerados volcánicos. En el contacto entre los conglomerados y las arenas volcánicas se presentan escurrimientos de agua y una fuerte salinidad. El espesor total de esta secuencia en la zona de estudio sobrepasa los 250 metros.

La expresión topográfica de la Formación Tarango y Atotonilco El Grande corresponde a llanuras ligeramente inclinadas de superficie planas, surcadas en grado variable por valles y arroyos encajonados o en forma de V.

Hidrologicamente toda la secuencia, presenta una permeabilidad primaria alta, lo que permite la presencia de un acuífero de buen rendimiento. La parte superior de la secuencia presenta una permeabilidad primaria baja, sin embargo, ésta se mejora debido a la presencia de las brechas, por lo que puede contener un acuífero de alto rendimiento. Sobre este tipo de rocas es donde se encuentra el acuífero de la zona con gastos que varía de 4 a 35 lps.

Suelos y Aluviones (Qal) .- Afloran en las partes planas de la zona y corresponden a tierras de cultivo, están constituidos por suelos, arenas, gravas, aglomerados y aluviones.

La edad que se les asigna a estos productos es del Cuaternario o Reciente.

V.2.- Geología Estructural

Regionalmente se aprecian de manera regional tres sistemas estructurales de dirección Noroeste-Sureste (NW-SE), Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-W), representado por fallas normales y fracturas (FIGURA 1).

El sistema estructural de dirección NW-SE , parece ser el más antiguo de los tres. A él pertenecen numerosos ejes de anticlinales y sinclinales de amplia magnitud y de dirección NW-SE. Este sistema estructural está asociado al patrón estructural de la Sierra Madre Oriental, afectando a rocas desde el Jurásico al Cretácico Superior. La Sierra de Ximilpan situada al sur de Ixmiquilpan presenta un burdo alineamiento en esta dirección.

A esta dirección de fracturamiento se asocia el cauce del río Chicavasco y Gaxhido, que conducen las aguas de los manantiales de la ciénaga de San Salvador.

El sistema estructural E-W, se observa en el área de estudio y afecta al cerro Guadril y cuyo bloque caído es al norte.

En la parte centro-sur del área de estudio, se presenta el sistema estructural de rumbo N-S y afecta a pequeños cuerpos de caliza alineados en esta dirección. A este fallamiento se asocia la presencia del manantial de Taxhado de 9.5 lps. Este sistema N-S, es el más reciente que los anteriores ya que corta tanto a rocas Cretácicas como Pliocénicas.

V.3.- Geomorfología

El Estado de Hidalgo se ubica dentro de las provincias Fisiográficas de La Sierra Madre Oriental y El Eje Neovolcánico (Raiz, 1964). Las dos provincias Fisiográficas están caracterizadas por formas constructivas diferentes asociadas a los tipos de estructuras y rocas que afloran en cada una de ellas.

La Sierra Madre Oriental en el área de estudio cubre la parte central, Norte y Sur. Sus formas son bien definidas y son sinclinales, anticlinales y sierras alargadas con altitudes que van de 2,000 a 2,300 msnm aproximadamente. Estas geoformas dan origen a cerros subredondeados con escarpes accidentados por los francos del anticlinal y también dan origen a alineamientos de rocas en dirección Norte-Sur, con sus flancos poco accidentados y de más de 100 metros de desnivel.

Las mayores elevaciones lo constituyen rocas calizas, plegadas y levantadas. Presentan una topografía abrupta muy accidentada y dan origen a grandes cañones, con desniveles superiores a los 100 metros. Estas grandes sierras son las que retienen la mayor humedad en toda la zona.

La zona centro del área de estudio presenta una morfología joven, en forma de lomas alargadas o amplias mesetas formadas por materiales volcánicos y en cuyos flancos dan lugar a abanicos de erosión, que provocan pendientes escarpadas con desniveles superiores a los 150 metros. Estas mesetas o tablones presentan barrancas y en ellas la erosión pluvial es muy intensa, lo que modifica sus formas.

V.4.- Riesgo Geológico

Debido a la existencia de rocas permeables (arenas, tobas, aglomerados volcánicos de Formación Tarango y Atotonilco El Grande) en el estrato superior del área de estudio, sobre todo en las partes planas, el riesgo que se corre al verter aguas residuales o aguas negras a parcelas, arroyos y en la superficie del terreno, es de que estas aguas se infiltren inmediatamente al acuífero de la zona, para contaminarlo.

El acuce del río Chicvasco, en su mayoría conduce aguas de buena calidad proveniente de los manantiales de San Salvador, sin embargo a la altura de El Mezquital, el agua lleva cierta cantidad de aguas negras, por lo que deberá cuidarse que no se mezclen estas aguas para no contaminar el agua de buena calidad, la cual es aprovechada a través de pozos para consumo humano.

Por lo anterior, es necesario tener un control de todas las aguas de desalojo de las poblaciones y la que se conduce en los canales, para evitar al máximo que estas aguas se infiltren.

VI.- CENSO DE MANIFESTACIONES DE AGUA SUPERFICIAL

Con la finalidad de conocer el comportamiento hidrológico del área, se censaron un total de 9 puntos de agua, los cuales se corresponden a 1 manantial y 8 pozos. Además se visitó el gran manantial de San Salvador de más de 4 m³ de gasto (Fotos 12 a 22).

VI.1.- Manantiales

Durante los recorridos de campo, se obtuvo la información relativa de las características físicas y constructivas de las diferentes captaciones, en la tabla 1 se puede apreciar el gasto, posición geográfica y la elevación topográfica del manantial (PLANO 1); El manantial que se visitó suministra de agua potable a la comunidad de Taxadho, municipio de Ixmiquilpan, el cual tiene un gasto de 9.5 lps.

El manantial de Taxadho se sitúa en brechas calcáreas y calizas de la Formación El Doctor y fluye a través de una falla geológica de dirección N-S (Foto 20).

La serie de manantiales de San Salvador, corresponde a una gran ciénaga, donde el agua asciende por capilaridad y es desalojada a través de canales que conducen su exceso al río Chicavasco. Aquí se sitúan innumerables manantiales que en conjunto llegan a tener un gasto aproximado de 4 m³ por segundo. Toda esta agua se aprovecha para riego (Fotos 16 y 17).

T A B L A 1

No	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD AD (METROS)	N.E	N.D	Q	N	W	Z
8	MANANTIAL TAXADHO	---	---	---	9.5	20°25'15"	99°07'49"	1,875 m

No = Número de punto de agua + N.E. Nivel Estático

+ N.D. Nivel Dinámico +Q = Gasto en lps.

+ N = Coordenada geográfica + W = Coordenada geográfica

+ Z = Elevación en metros con respecto al nivel del mar.

VI.2.- Pozos

En el área de estudio se visitaron un total de 8 pozos, la mayoría de ellos son para agua potable, sus profundidades varían de 70 a 315 metros, con niveles estáticos que varían de los 6 a los 81 metros. El gasto promedio de estos pozos varía de 4 a 35 lps (Fotos 12 a 22). En la mayoría de estos pozos, sus operadores comentan que la tubería se oxida rápidamente y empieza a corroerse, por lo que las aguas en la zona son corrosivas.

El pozo del Ejido de Maguey Blanco - Cañada Chica, tiene una profundidad de 315 metros y un nivel estático a los 81.60 metros, este pozo se sitúa sobre los terrenos de la mesa El Tablón, es el único y se encuentra sin uso. Tiene un ademe de 30.48 centímetros (12" pulgadas) y un contrademe de 45.72 centímetros (18" pulgadas).

El pozo de agua potable de La Loma Villagrán, tiene una profundidad de 200 metros, con un nivel dinámico a los 46.10 metros y un gasto de 16 lps. Según datos del operador del pozo, el nivel estático está a la misma profundidad 21 metros.

El pozo de la Ex-Hacienda de Ocotza, tiene una profundidad de 70 metros, un nivel estático a los 6.64 metros y un gasto de 16 lps y el nivel dinámico no sufre variaciones. Este pozo presenta ya corrosión en su tubería de ademe. La bomba se encuentra colocada a 30 metros de profundidad.

El pozo del Ejido de Mezquital tiene un gasto de 4 lps y no fue posible obtener más datos debido a que el pozo se encuentra sellado.

El pozo de agua potable de la comunidad de La Flor municipio de San Salvador, Hgo. Tiene una profundidad de 150 metros, un nivel estático a los 21 metros y un nivel dinámico que no se mueve. Tiene un gasto de 35 lps y es el pozo que tiene la mayor gasto de toda la zona.

El pozo del sistema de agua potable de Cerrito Mezquital, tiene una profundidad de 150 metros y un nivel estático y dinámico a los 80 metros, con un gasto de 12 lps.

El pozo de agua potable de la comunidad de Mothé, municipio de San Salvador, Hgo. Tiene una profundidad de 150 metros y un nivel estático a los 16 metros y no desciende nada para dar un gasto de 12 metros.

El pozo de Taxadho, con una profundidad de 250 metros se encuentra fuera de uso, por que su agua presenta una alta salinidad. Este pozo tiene un nivel estático a los 19.30 metros. Durante la prueba de aforo el agua del pozo fue de buena calidad pero cuando se equipó con una columna de bombeo a los 54 metros el agua fué salada y la tubería, cuando se extrajo presentó gran incrustación y una fuerte oxidación por corrosión. Es conveniente realizarle a este pozo pruebas de bombeo a diferentes profundidades y realizar análisis químicos detallados para determinar donde se encuentra el agua de buena calidad y poder explotarla.

T A B L A 2

No	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD (METROS)	N.E	N.D	Q	N	W	Z
1	POZO EJIDO MAGUEY BLANCO - CAÑADA CHICA	315	81.60	----	SIN USO	20°24'36"	99°06'60"	1,976 m
2	POZO LA LOMA VILLAGRAN	200	21	46.10	16	20°24'28"	99°06'21"	1,931 m
3	POZO EX-HACIENDA DE OCOTZA	70	6.64	6.64	16	20°25'08"	99°05'44"	1,894 m
4	POZO EJIDO MEXQUITAL	---	---	---	4	20°25'14"	99°05'07"	1,888 m
5	POZO LA FLOR	150	21	21	35	20°24'02"	99°08'14"	1,893 m
6	POZO CERRITO MEZQUITAL	150	80	80	12	20°23'22"	99°08'25"	1,945 m
7	POZO AGUA POTABLE MOTHÉ	150	16	16	12	20°24'09"	99°08'60"	1,867 m
9	POZO TAXADHO	250	19.30	----	----	20°25'33"	99°08'26"	1,835 m

•No = Número de punto de agua + N.E. Nivel Estático

+ N.D. Nivel Dinámico +Q = Gasto en lps.

+ N = Coordenada geográfica + W = Coordenada geográfica

+ Z = Elevación en metros con respecto al nivel del mar.

De los estudios para la búsqueda de agua subterránea, el método geofísico más empleado es el eléctrico en corriente continua denominado Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y el dispositivo tetraelectrónico que se emplea normalmente es el Schlumberger.

En este estudio se realizaron 11 SEV's con aperturas máximas en electrodos de corriente de AB = 2,000 metros con el dispositivo mencionado, para estudiar una profundidad aproximada entre 50 y 500 metros. Sin embargo, debido a las condiciones físicas del subsuelo se alcanzaron profundidades máximas a la cima del basamento eléctrico de 209 metros para el SEV-1, de 194 metros para el SEV-2, de 461 metros para el SEV-3, de 502 metros para el SEV-4, de 424 metros para el SEV-5, de 322 metros para el SEV-6, de 98 metros para el SEV-7, de 209 metros para el SEV-8, de 83 metros para el SEV-9, de 254 metros para el SEV-10 y de 75 metros para el SEV-11.

El SEV-1 se realizó sobre la carretera Federal 85 en el tramo Ixmiquilpan-Pachuca, en el límite de los ejidos Boxaxni y Xuchitlán (Foto 1). El SEV-2 se realizó en límite del ejido Xuchitlán, frente al cerro de La Zorra, 1 kilómetro al sur de la carretera Federal 85 (Foto 2). El SEV-3 se realizó en el límite de los ejidos Xuchitlán, Boxaxni y Barranca Ancha, 1 kilómetro al norte de la carretera Federal 85 (Foto 3). El SEV-4 se realizó en el límite de los ejidos Boxaxni y Maguey Blanco (Cañada Chica), 780 metros al norte de SEV-3 (Foto 4). El SEV-5 se realizó en el límite de los ejidos Boxaxni y Taxadho, 500 metros al norte del SEV-4 (Foto 5). El SEV-6 se realizó en el límite de los ejidos Taxadho y Pueblo Nuevo, 650 metros al norte del SEV-5 (Foto 6). El SEV-7 se realizó en el ejido Taxadho, 1170 metros al poniente del SEV-6 (Foto 7). El SEV-8 se realizó en el ejido Taxadho, 600 metros al norte del SEV-7 (Foto 8). El SEV-9 se realizó en el ejido Taxadho, 860 metros al poniente del SEV-7 (Foto 9). El SEV-10 se realizó junto al pozo del ejido Taxadho (Foto 10). El SEV-11 se realizó en el ejido Xuchitlán (Foto 11) (FIGURA 1).

Las coordenadas de cada uno de los SEV's están referidas al GEOIDE WGS-84 y son las siguientes:

	COORDENADAS MERCATOR EN METROS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
SEV-1	X = 487,841.	N 20°23'45.2"
	Y = 2'255,296	W 99°06'59.5"
	Z = 1,971.	
SEV-2	X = 488,017.	N 20°23'04.8"
	Y = 2'254,053.	W 99°06'53.5"
	Z = 1,980.	
SEV-3	X = 488,039.	N 20°24'17.8"
	Y = 2'256,299.	W 99°06'52.7"
	Z = 1,973.	
SEV-4	X = 488,251.	N 20°24'39.4"
	Y = 2'256,959.	W 99°06'45.4"
	Z = 1,939.	

SEV-5	X = 488,389.	N 20°24'55.8"
	Y = 2'257,468.	W 99°06'40.8"
	Z = 1,972.	
SEV-6	X = 488,546.	N 20°25'18.2"
	Y = 2'258,155.	W 99°06'35.4"
	Z = 1,976.	
SEV-7	X = 487,378.	N 20°25'17.4"
	Y = 2'258,132.	W 99°07'15.5"
	Z = 1,865.	
SEV-8	X = 487,418.	N 20°25'37.6"
	Y = 2'258,750.	W 99°07'14.2"
	Z = 1,870.	
SEV-9	X = 486,474.	N 20°25'29.0"
	Y = 2'258,486.	W 99°07'46.8"
	Z = 1,840.	
SEV-10	X = 485,329.	N 20°25'32.0"
	Y = 2'258,581.	W 99°08'26.3"
	Z = 1,835.	
SEV-11	X = 486,766.	N 20°23'11.2"
	Y = 2'254,251.	W 99°07'36.5"
	Z = 2,005.	

VII.1.- INTERPRETACIÓN

La información obtenida de los SEV's en el campo fue calculada y graficada en papel logarítmico de 3X3 ciclos para obtener las curvas de resistividad aparente de cada SEV y posteriormente, fueron cuantificadas mediante curvas maestras (ORELLANA - MOONEY, HOLANDESAS e ITALIANAS) y programas de computadora, para obtener el modelo de capas o electroestratigráfico de cada SEV (FIGURAS 3 a 13 respectivamente).

Con la interpretación de capas de los SEV's 2, 1, 3, 4, 5 y 6 (FIGURAS 4, 3, 5, 6, 7 y 8 respectivamente) se elaboró el PERFIL CUANTITATIVO NORTE - SUR de la FIGURA 14, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la zona oriental en una dirección general Sur Suroeste - Nor Noreste (SSW-NNE), paralelo al límite de los ejidos Xuchitlán - Boxaxni, Boxaxni - Maguey Blanco (Cañada Chica), Taxadho - Boxaxni y Taxadho - Pueblo Nuevo.

En este perfil, la base está representada en color gris claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas calizas, con valores de resistividad eléctrica calculada entre 89 y 4728 Ohm-metro; con su cima a los 72 metros de profundidad para el SEV-2, a los 94 metros de profundidad para el SEV-1, a los 461 metros de profundidad para el SEV-3, a los 502 metros de profundidad para el SEV-4,

a los 424 metros de profundidad para el SEV-5 y a los 322 metros de profundidad para el SEV-6. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas. Esta capa carece de interés acuífero.**

18

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 13 y 36 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 12 metros de profundidad para el SEV-2, y tiene un espesor de 60 metros; en el SEV-1 se encuentra a los 51 metros de profundidad y tiene un espesor de 44 metros; en el SEV-3 se encuentra a los 56 metros de profundidad y presenta un espesor de 406 metros; en el SEV-4 se encuentra a los 36 metros de profundidad y tiene un espesor de 468 metros; en el SEV-5 se localiza a los 74 metros de profundidad y tiene un espesor de 350 metros y en el SEV-6 se encuentra a los 68 metros de profundidad y muestra un espesor de 254 metros . **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

Por encima de la capa anterior, se encuentran otras de característica permeable, en color café claro, con valor de resistividad eléctrica calculada entre 3 y 5800 Ohm-metro; la cima de estas capas se encuentra desde la superficie del terreno con espesores de 12 metros para el SEV-2, de 51 metros en el SEV-1, de 56 metros en el SEV-3, de 36 metros en el SEV-4, de 74 metros en el SEV-5 y de 68 metros en el SEV-6. **Esta capa no tiene interés acuífero y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

Con la interpretación de capas de los SEV's 10, 9, 7 y 6 (FIGURAS 12, 11, 9 y 8 respectivamente) se elaboró el PERFIL CUANTITATIVO OESTE - ESTE de la FIGURA 15, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la zona norte en una dirección general Oeste Noroeste - Este Sureste (WNW-ESE), casi al centro del ejido de Taxadho.

En este perfil, la base está representada en color gris claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas calizas, con valores de resistividad eléctrica calculada entre 91 y 8179 Ohm-metro; con su cima a los 254 metros de profundidad para el SEV-10, a los 83 metros de profundidad para el SEV-9, a los 98 metros de profundidad para el SEV-7 y a los 322 metros de profundidad para el SEV-6. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electródicas a las empleadas. Esta capa carece de interés acuífero.**

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 3 y 18 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra a 14 metros de profundidad para el SEV-10, y tiene un espesor de 240 metros; en el SEV-9 se encuentra a los 7 metros de profundidad y tiene un espesor de 76 metros; en el SEV-7 se encuentra a los 14 metros de profundidad y presenta un espesor de 74 metros y en el SEV-6 se encuentra a los 68 metros de profundidad y muestra un espesor de 254 metros . **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

Por encima de la capa anterior, se encuentran otras de característica permeable, en color café claro, con valor de resistividad eléctrica calculada entre 3 y 286 Ohm-metro; la cima de estas capas se encuentra desde la superficie del terreno con espesores de 14 metros para el SEV-10, de 7 metros en el SEV-9, de 14 metros en el SEV-7 y de 68 metros en el SEV-6. **Esta capa no tiene interés acuífero y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

Con la interpretación de capas de los SEV's 7 y 8 (FIGURAS 9 y 10 respectivamente) se elaboró el PERFIL CUANTITATIVO TAXADHO de la FIGURA 16, en donde se puede observar el comportamiento eléctrico del subsuelo de la central del ejido de Taxadho en una dirección general Sur - Norte (S-N).

En este perfil, al igual que en los anteriores, la base está representada en color gris claro, muestra el comportamiento del basamento o resistivo eléctrico que corresponde a rocas calizas, con valores de resistividad eléctrica calculada entre 8179 y 21744 Ohm-metro; con su cima a los 98 metros de profundidad para el SEV-7 y a los 209 metros de profundidad para el SEV-8. **Su espesor no pudo ser definido, ya que hubiera sido necesario realizar SEV's con mayores aperturas electrónicas a las empleadas. Esta capa carece de interés acuífero.**

Sobre yaciendo al resistivo anterior, se encuentra una capa de característica permeable (color azul) con valor de resistividad eléctrica calculada entre 3 y 51 Ohm-metro; la cima de esta capa se encuentra en el SEV-7 a los 14 metros de profundidad y presenta un espesor de 74 metros y en el SEV-8 se encuentra a los 8 metros de profundidad y muestra un espesor de 201 metros. **Esta capa presenta posibilidades acuíferas y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

Por encima de la capa anterior, se encuentran otras de característica permeable, en color café claro, con valor de resistividad eléctrica calculada entre 9 y 165 Ohm-metro; la cima de estas capas se encuentra desde la superficie del terreno con espesores de 14 metros en el SEV-7 y de 8 metros en el SEV-8. **Esta capa no tiene interés acuífero y se relaciona con tobas arenosas, arcillosas y pumicíticas.**

El SEV-11 que se realizó en el ejido de Xuchitlán, no presenta características físicas para contener algún acuífero, ya que los valores de resistividad eléctrica calculados son muy altos, mayores a 450 Ohm-metro; relacionados con rocas calizas impermeables. **Sin embargo, a la profundidad de 52 metros se calculó una capa de 23 metros de espesor que pudiera relacionarse con un conductor eléctrico y éste a su vez con una capa permeable que pudiera contener agua.** Este SEV está aislado de los demás y para poder corroborar la capa mencionada, es necesario realizar por lo menos dos SEV's más en esa zona.

Desde el punto de vista acuífero existe una capa de gran interés: Se muestra de los 51 a los 94 metros de profundidad para el SEV-1; de los 12 a los 72 metros de profundidad para el SEV-2; de los 56 a los 461 metros de profundidad para el SEV-3; de los 36 a los 502 metros de profundidad para el SEV-4; de los 74 a los 424 metros de profundidad para el SEV-5; de los 68 a los 322 metros de profundidad para el SEV-6; de los 14 a los 98 metros de profundidad en el SEV-7, de los 8 hasta los 209

metros de profundidad para el SEV-8, de los 7 a los 83 metros de profundidad para el SEV-9 y de los 14 a los 254 metros de profundidad para el SEV-10.

De lo anterior, los sitios que presentan las mejores características acuíferas para poder perforar pozos exploratorios son: Los lugares en donde se realizaron los SEV's 3, 4, 5, 6 y 8.

20

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

- Astier, J.C., 1975.- GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA, Paraninfo, Madrid, España.
- Castany, G., 1975.- PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. Editorial OMEGA, Barcelona, España.
- Consejo de Recursos Minerales, Marzo 1996.- Gerencia de Exploración Geológica, Residencia Querétaro. INFORME FINAL COMPLEMENTARIO A LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-MINERA Y GEOQUÍMICA 1: 50,000. HOJA IXMIQUILPAN F14C 79.
- Comisión Federal de Electricidad, 1983.- RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE FOCOS TERMALES EN EL ESTADO DE HIDALGO 12/83 INEDITO.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).- SINTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE HIDALGO.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).- CARTA TOPOGRÁFICA 1:50,000 IXMIQUILPAN F14C79
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).- CARTA HIDROLOGICA DE AGUAS SUPERFICIALES 1: 250,000 PACHUCA F14-11
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).- CARTA HIDROLOGICA DE AGUAS SUBTERRANEAS 1: 250,000 PACHUCA F14-11.
- Kalenov, E.N. , 1987.- INTERPRETACIÓN DE CURVAS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, España.
- Longwell, R.Ch., Flint, F.R., 1979.- GEOLOGÍA FÍSICA, Editorial LIMUSA, México.
- Orellana, E., Mooney, H.M., 1966.- MASTER TABLES AND CURVES FOR VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING OVER LAYERED STRUCTURES, Ediciones Interciencia, Madrid, España.

-Revista AMBIENTUM, Febrero del 2002.- Nitrógeno en el agua. www.ambientum.com.
España.

- Servicio Meteorológico Nacional,- DATOS ESTADISTICOS DE EVAPORACIÓN,
PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DE LAS ESTACIONES
CLIMATOLÓGICAS DE, CUERNAVACA Y EL RODEO. Inédito.

21

-Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A., 1976.- APPLIED GEOPHYSICS,
Cambridge University Press, London, Great Britain.

A t e n t a m e n t e,

Hugo Rainier Ballina López
Ingeniero Geofísico

Juan J. Herrera Franco
Ingeniero Geólogo

Manuel Azcargota González

