



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO
PARA UN RELLENO SANITARIO EN EL
MUNICIPIO DE CHIMALHUACÁN**

I N F O R M E

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

FRANCISCO JAVIER MONTALVO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE INFORME:

ING. FERNANDO ROSIQUE NARANJO



MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE 2015.

Agradecimientos

Cada vida tiene una historia, cada historia tiene a su protagonista y cada protagonista tiene a su alrededor personajes que lo van enriqueciendo y complementando. Sin duda alguna mis papas son fundamentales en mi vida, agradezco enormemente que me hayan tocado unas personas tan maravillosas pues ellos son el complemento perfecto de mi formación pues me han dado tanto en mi vida y me han dado las armas para volar yo solo. Sin duda la comunicación es muy importante en la familia y es algo muy valioso que tenemos ya que casi diario nos ponemos a platicar de nuestro día, tu mamá (materemón) eres el lado exigente y más duro pero no quiere decir que no seas dulce y que me llenas de amor, tus regaños, tus palabras de aliento cuando las he necesitado, tus consejos, tus risas, tu apoyo han sido muy importantes para mí, estar a tu lado me llena de orgullo tu papá (Homero) eres el lado blando pero no quiere decir que débil, eres el lado que se necesita para tomar un relax, eres extremadamente cariñoso (no me quejo, en verdad lo agradezco enormemente) tus ocurrencias, tus ideas le ponen un sabor a mi vida inigualable, no me regañas tanto e incluso llegaste a ser varias veces mi tapadera en mis travesuras y eres el papá que todo mundo sueña pues muchas personas a mi alrededor alaban a sus mamás como yo lo hago con mamá pero no a sus papás y yo sí puedo hablar y presumirte mucho pues como tú no hay dos, me llenas de abrazos, cariño, platicamos mucho y me haces reír, sin duda son el complemento perfecto a mi vida y son una parte muy importante por este logro tan grande en mi vida, los amo enormemente.

Octavio, mi querido hermanito y puedo presumir que hasta mi querido amigo, mi vida es impensable sin ti, eres muy importante en mi vida, tus palabras de apoyo me han ayudado mucho, hemos reído, llorado, peleado, disfrutado tantas cosas ya que tenemos gustos similares y como te había dicho antes eres el mejor Luigi, el mejor Dom, el mejor auxiliar técnico que existe en todo el mundo mundial, los videojuegos serían aburridos sin ti, el futbol sería un deporte más, los comics no tendrían vida, el cine tendría un significado incompleto y la música no tendría sentido, gracias por ser el mejor hermano.

Patsy, estos años no pueden contarse sin tu presencia tu llegada a mi vida ha sido caída del cielo, sin duda fuiste un gran apoyo tanto sentimental como académico y me has dado más fuerzas para no dejarme vencer y sabes muy bien lo que costo llegar a este punto y aunque hubo dificultades hubo más cosas buenas y el camino junto a ti ha sido lo mejor para llegar a esta meta, si lo deseas, si lo sueñas lo puedes lograr.

Chonis monis, mi abuelita que siempre en mis travesuras me amenazó con esa tablita pero que jamás fue usada, me cuidó desde que era un bebé y ahora me toca cuidarte a ti y no porque sea mi obligación, más bien porque me nace hacerlo y este reporte tiene parte de ti.

Agradezco a mis tío Paco, Alfonso y Memo que las pocas veces que los veo me han apoyado y dado consejos, a mi tía Chela porque estos últimos años me hizo más sabio con sus pláticas y el cariño que demuestra, a mi tío Jaime (carnalito) que lo veo como un amigo porque ha estado junto a mí en las buenas y en las malas y siempre tiene una sonrisa aunque por dentro tenga muchos problemas (arriba el América carnal) y a mi tía Ángela que desde niño has sido muy cercana a mí y tus regaños, consejos, abrazos han aportado para que este logro se haya cumplido.

Gracias a mis primos, Alejandra, Moi, Ulises, Oscar, Erika, Samantha, Tabata y Diana que nuestra convivencia ha sido genial y muy sana y son muy importantes en mi infancia; Arith, Ángel, Vernon, Yubal muchas gracias por su cariño y por hacerme mi adolescencia muy feliz pues haberlos tenido tan cerca y haber convivido día a día durante unos años me enseñaron muchos valores y seguir

los sueños; Hugo y Fernanda hemos crecido juntos y vivido tantas cosas, tantas aventuras y experiencias que si las contara podría hacer un libro.

Dos personas que no pudieron estar físicamente a mi lado en esta meta pero que estoy seguro los tengo en este momento a mi lado en esencia, abuelito Licho gracias por tu cariño, por esa alegría que por más duro que era mi día y llegaba a verte me sacabas una sonrisa y tío Hugo, tus consejos, tus platicas me enseñaron que por más duro que este el camino hay que levantarse y seguir adelante (Paint it Black); los extraño mucho.

Mi vida y este logro no puede concebirse sin mis amigos, más bien hermanos que han estado conmigo desde secundaria y he contado con ustedes hasta la fecha: Jorge, Gerardo, Borre, Eugenio, Luis, Alejandro, gracias por su amistad y cariño. Alguna vez me dijeron que los amigos no se pueden contar con una sola mano, yo puedo contarlos con una y hasta la otra mano necesito. No puedo dejar de mencionar a Marce, tu que has sido como una segunda mama, este trabajo también tiene parte de ti, gracias por aceptarnos en tu casa para “estudiar” y llenar de alegría la vida. Vero gracias por tu amistad y tú sabes todo lo que paso en este camino para poder lograrlo, tu amistad es inigualable y gracias por estar en los momentos buenos y malos.

Gracias a mis amigos universitarios, encontré en la vida universitaria tantas personas tan valiosas que hicieron que la universidad la recuerde para siempre, Chucho, Piña, Liz, Elizabeth gracias por su amistad, Ángel, Diego, Sharen, Rebeca conocerlos al inicio de la carrera fue genial y sobre todo los amigos más cercanos que tuve día a día en mi carrera: Arturo, María, Hugo y claro el gran cubículo 6, tantas risas con Jr., Caro, Clau, Nestor, Vizu, Pare, una gran familia, esto también tiene parte de ustedes.

A mis queridos profesores, Fernando Rosique que fuiste como un papa académico y que me oriento para ser un mejor ingeniero, tus sabios consejos, tus enseñanzas tanto de la carrera como de la vida, gracias por enseñarme el camino a seguir y darme las armas necesarias para salir al ámbito laboral, Dr. Padilla, Ing. Arriaga gracias por sus consejos y demostrar que un profesor no está peleado con ser amigo. Por ultimo pero no menos importante a mi jefe, compañero y amigo Jorge Roldán, pieza fundamental para que este logro fuera una realidad, las enseñanzas laborales como de la vida y tus consejos me ayudan y como alguna vez te dije, no echo en saco roto todo lo que me has enseñado y que sigo aprendiendo de ti.

Si olvido a alguien no es mala onda pero son tantas personas tan importantes en mi vida que podría llevarme páginas y páginas para agradecer a cada uno. He aprendido que por más difícil que sea el camino no debes dejarte vencer, aprendí a ver que hasta lo malo tiene cosas muy buenas y eso me ha ayudado mucho a entender cosas y no dejar mis objetivos y metas pues si de algo me enorgullezco es cumplir lo que me he propuesto y faltan muchas cosas más, jamás te rindas, siempre hay que recordar que el futuro no se ha escrito aun, el de nadie; su futuro es lo que hagan de él.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	1
1. MARCO TEÓRICO	2
1.1. Localización y descripción	2
1.1.2 Vías de comunicación	3
1.1.3 Transportes	5
1.2 Fisiografía	5
1.2.1 Hidrografía	6
1.2.2 Morfología	7
1.3 Datos físicos	8
1.3.1 Relieve y topografía	8
1.3.2 Clima	8
2. METODOLOGÍA	10
2.1 Estudios y análisis	10
2.1.1 Geología	10
2.1.2 Geología regional	12
2.1.3 Geología local	15
2.1.4 Estratigrafía local	16
2.1.5 Hidrogeología	16
2.1.6 Geofísica	19
3. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL	37
CONCLUSIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39

INTRODUCCIÓN

Los trabajos que a continuación se describen tienen como base los criterios generales en cuanto al análisis hidrogeológico que debe realizarse en el sitio destinado al confinamiento controlado de residuos para construir un relleno sanitario.

Los resultados de los trabajos realizados permitieron conocer la vocación natural de la región, para establecer un complejo medioambiental considerando aspectos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos.

OBJETIVOS

Con base en los criterios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos, se realizó un análisis a escala regional y de detalle, que permitió establecer la vocación natural de una región ubicada en Chimalhuacán, Estado de México.

Lo antes expuesto se logró a través del cumplimiento de los siguientes objetivos particulares:

1. Se identificaron las características geológicas de la región donde se pretende ubicar el relleno sanitario, haciendo énfasis en los aspectos geológicos, observándose una predominancia de las rocas ígneas sobre las rocas sedimentarias.
2. Se estableció el modelo conceptual hidrogeológico de la zona, para conocer la localización de materiales que constituyen los acuíferos, definir su continuidad, y se evaluó la posible comunicación entre las zonas de cerros, lomas y planicie (donde se localizan los pozos de explotación de agua), constituidas por rocas ígneas extrusivas y sedimentarias.
3. Se evaluó el comportamiento del sitio de interés como una zona de recarga de agua subterránea ya que los materiales son prácticamente permeables, lo que permitirá un funcionamiento de alimentación de agua hacia el subsuelo.
4. Se identificaron las áreas de inundación, las corrientes y la cuenca de aportación.
5. Se analizó la situación de que el sitio en comento, sea el lugar óptimo para alojar el confinamiento del relleno sanitario.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Localización y descripción

Los municipios de Chimalhuacán y Chicoloapan se localizan al oriente del Estado de México, en la parte central de la Cuenca de México a una elevación promedio de 2,250 msnm, en la parte central de México. Chimalhuacán y Chicoloapan son algunos de los municipios conurbados con la zona metropolitana del Valle de México.

Coordenadas del sitio

Entre los paralelos 19° 21' y 19° 27' de latitud norte; los meridianos 98° 47' y 98° 57' de longitud oeste; altitud entre 2 200 y 2 900 m.

Colindancias

Colinda al norte con el municipio de Texcoco; al este con los municipios de Texcoco e Ixtapaluca; al sur con los municipios de Ixtapaluca y La Paz; al oeste con los municipios de La Paz y Chimalhuacán.

El sitio en estudio está aledaño al municipio de Chimalhuacán, en terrenos del municipio de Chicoloapan, en adelante las referencias se harán respecto al sitio físico que ocupa el terreno de interés (véase fig. 1.1 y 1.2).



Fig. 1.1 Localización municipio Chicoloapan.

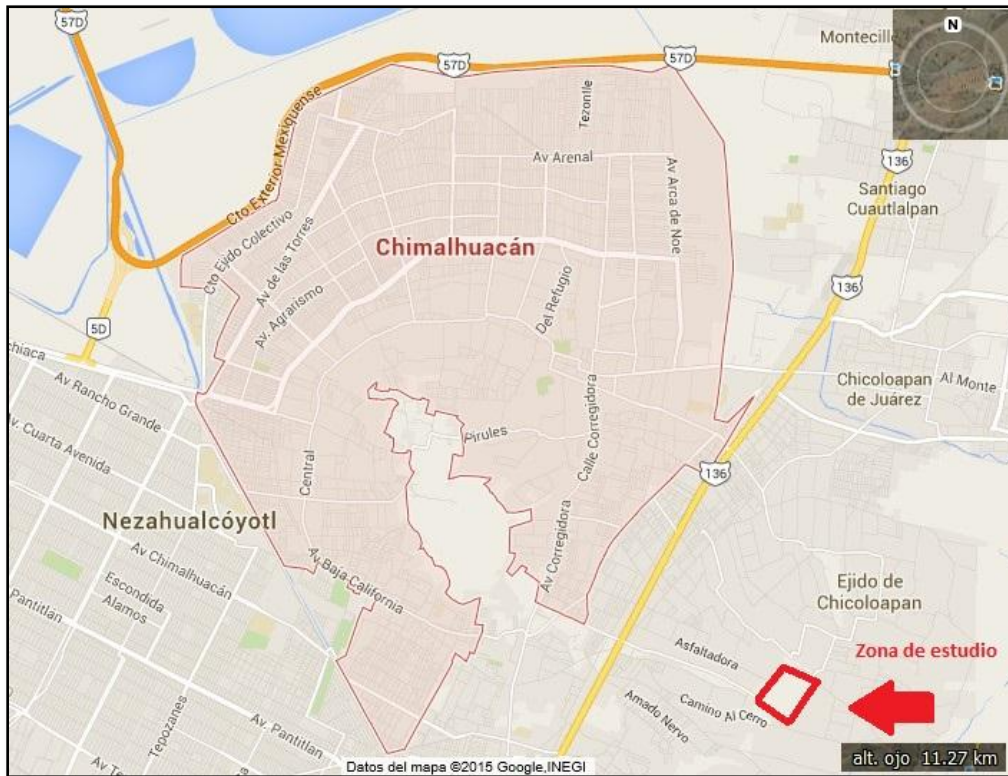


Fig. 1.2. Localización municipio Chimalhuacán

1.1.2 Vías de comunicación

Las vías de comunicación del municipio tienen 27 kilómetros de líneas carreteras, entre las cuales destacan, la carretera México 136 (Federal México-Texcoco), el enlace Ixtapaluca-Tecámac, Pirules (Huatongo), Prolongación Allende, Avenida Emiliano Zapata, Camino a Ex hacienda Tlalmimilolpan, Real del Monte, Boulevard Súper Nova y Paseo Vía Láctea, todas las vías antes mencionadas, representan el eje troncal de comunicación, tanto al interior como al exterior del municipio. Cuenta con 138 kilómetros de calles pavimentadas y 64.51 Kilómetros de caminos rurales (fig. 1.3 y 1.4).

Las vías de acceso principales para llegar al sitio del futuro relleno sanitario, son:

- Carretera México – Texcoco, se entra por la calle Ignacio Allende que se localiza al sur del municipio de Chimalhuacán.
- Carretera México – Texcoco, se entra por la calle Camino Ejidal que se localiza al sur del municipio de Chimalhuacán.



Fig. 1.3 Vías de comunicación hacia el terreno.

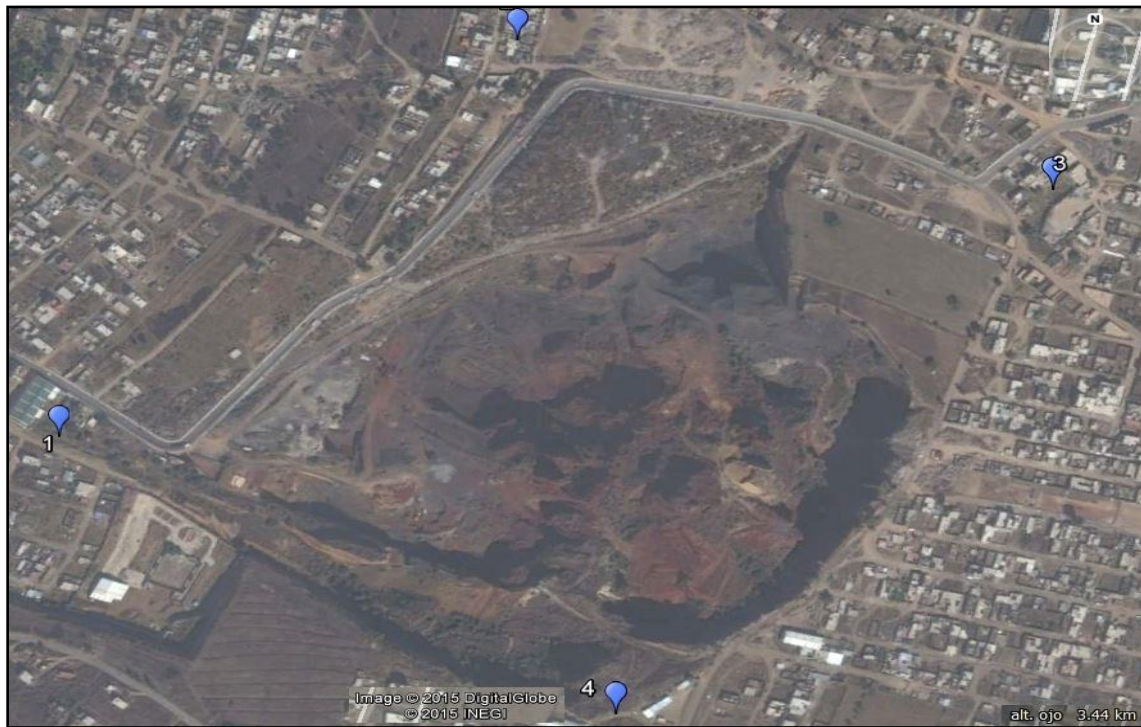


Fig. 1.4 Zona de estudio

1.1.3 Transportes

El equipamiento de transporte, se constituye por instalaciones cuya función es proporcionar servicios de transporte a la población en general, dichos establecimientos facilitan, mediante sus servicios, el desplazamiento de personas y bienes; apoyan directamente las actividades productivas y de comercialización, mediante la eficiente distribución de éstos en el territorio; así como las de desarrollo y bienestar social a través de la movilización eficiente y oportuna de pasajeros.

Referente al transporte, existen 24 rutas que prestan el servicio al municipio, entre colectivos, autobuses concesionados y taxis; realizan más del 75% de los viajes diarios al exterior del municipio, principalmente a las estaciones del Sistema de Transporte Colectivo (Metro). Dichos transportes carecen de instalaciones apropiadas para la atención del servicio; como terminales y patios de servicio, lo que genera graves problemas viales al utilizar las avenidas como bases.

Aunado a la invasión y sobresaturación de rutas y derroteros, conflictos entre organizaciones del transporte, irregularidad en el servicio y falta de capacitación a operadores, a quienes es necesario vigilar su estado de salud, también ha aparecido el transporte local por medio de bici-taxis y moto-taxis que no cumplen con las normas de seguridad, pero que debido a la falta de empleos formales y a la necesidad de la población para transportarse a escuelas, mercados, trabajo local, etc., lo utilizan y fomentan su utilización en las calles principales del municipio de Chicoloapan.

1.2 Fisiografía

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica del Altiplano Neovolcánico, que se caracteriza por una gran variedad de rocas volcánicas de todo tipo, producto de los innumerables eventos volcánicos que se manifiestan desde las costas del Océano Pacífico hasta el Golfo de México; está constituida por grandes sierras de origen volcánico, extensas coladas lávicas, conos cineríticos, depósitos de tobas arenosas y cenizas, grandes estrato volcanes como el Popocatépetl, Iztaccíhuatl, Citlaltépetl, Zinantécatl, Volcán de Colima y Nevado de Colima.

Debido a la extensa actividad volcánica, se formaron cuencas cerradas originadas cuando los derrames bloquearon la salida natural de los valles, provocando el

nacimiento de lagos como los de Ixtlahuaca, San Felipe del Progreso, Acambay, Zumpango, Xochimilco y Texcoco.

Por las diversas características de la provincia del Eje Neovolcánico, ésta se subdivide en varias subprovincias: Mil Cumbres, Llanos y Sierras de Querétaro e Hidalgo y Lagos y Volcanes de Anáhuac, esta última cubre gran parte del Estado de México, incluida el área de estudio.

1.2.1 Hidrografía

La zona se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 26, Río Pánuco, correspondiente a la vertiente de Oriente o del Golfo de México. Más específicamente se encuentra en la subcuenca del río Moctezuma y, a su vez, en la subcuenca Lagunas de Texcoco y Zumpango, que es de tipo endorreico y que es mejor conocida como la cuenca del Valle de México.

Región hidrológica	Pánuco (100%)
Cuenca	R. Moctezuma (100%)
Subcuenca	L. Texcoco y Zumpango (100%)
Corrientes de agua	Intermitente: El Manzano

La Cuenca del Valle de México abarca las porciones norte y oriente del Estado de México, que se caracteriza por ser del tipo endorreico, a la que se le hizo una salida artificial al norte, a través del Tajo de Nochistongo para verter sus aguas hacia la cuenca del río Pánuco.

Hacia la zona de estudio, los principales escurrimientos superficiales están representados por pequeños arroyos intermitentes, que funcionan solamente durante la época de lluvias; estos escurrimientos descienden desde la porción más elevada de los cerros circundantes.

El principal escurrimiento superficial, por así decirlo, es el Gran Canal del Desagüe, en el que actualmente descargan la mayoría de las corrientes superficiales que se localizan en esta región, el cual está construido perpendicularmente al sentido de dirección de los flujos de los arroyos.

El Gran Canal del Desagüe es una de las principales obras con que cuenta la Ciudad de México para drenar al exterior las aguas negras y pluviales; para este fin y debido al hundimiento de la ciudad, se le ha dotado de una capacidad de bombeo de 220 m³/s. Este conducto corre a cielo abierto a partir de San Lázaro, al oriente del Distrito Federal con curso general al nornoroeste. Recibe las aguas de la desviación combinada en el km 10+000, para posteriormente cruzar por el valle

de Cuautitlán, donde sus aguas son aprovechadas en Chiconautla y otras áreas de riego. A la altura del km 19+000, recibe los escurrimientos del Lago de Texcoco y finalmente se convierte en un afluente del Valle de México, al salir por los túneles de Tequixquiac, descargando al río Salado, que es afluente del río Tula.

1.2.2 Morfología

El área de interés presenta una morfología de “llanura lacustre endorreica, también conceptualizada como llano volcánico”, a continuación se dan las características generales de este tipo de formas geológicas.

Adicionalmente se mencionan las formas que rodean esta llanura lacustre.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN
Llanura Lacustre endorreica y/o llano volcánico	Esta surge a partir de un antiguo lago colmatado (rellenado) por la disposición de los materiales transportados por los cursos de agua que desembocaban en él. Los suelos de estas llanuras suelen ser aptos para la agricultura, aunque a veces se hace necesario un avenamiento (drenaje) artificial a causa del carácter pantanoso de la llanura. Por otra parte el llano volcánico es un relieve creado a partir de la deposición de material piroclástico.	Se ubica en la porción central del municipio en forma de franja con orientación norte-sur. También se puede encontrar en una pequeña parte al extremo poniente. Como característica se hace presente en las zonas donde la pendiente es muy suave.
Premontaña	Se presenta como un cambio brusco de la pendiente de una ladera montañosa hacia su base y pasa a un plano inclinado constituido por los materiales arrancados de las laderas por acción de la gravedad, el agua y el viento.	Se hace presente en la mayor parte de la zona urbana del municipio.
Flujo de lava cubierto de piroclastos	Relieve conformado por coladas de lava resultado de una erupción volcánica, la cual pudo ser de tipo explosivo o efusivo. Este tipo de relieve suele ser sepultado por piroclastos expulsados tras una erupción violenta dando la apariencia de mesetas o relieves acumulativos.	Se localiza en la porción Sur del territorio municipal, dan forma a los edificios volcánicos ubicados en esta zona (volcanes Xolcuango, Tejolote Grande, Tejolote Chico y Cuetlapanca.)
Rampa erosiva con procesos de socavación lateral	Consta de una geo forma de tipo residual que se expresa con un relieve de elevaciones y lomeríos modelados por la disección fluvial en forma de socavación. Una característica que se presenta en esta geo forma es la fuerte disección por incisión de barrancos y erosión remontante de las cabeceras; además se distingue porque en este tipo de rampa deja de haber acumulación sedimentaria y por tanto, termina su edificación sustituyéndola por un relieve erosivo expresado por arreglo de lomas disectadas por la red de barrancos, campos de cárcavas y surcos.	Se localizan en la porción oriente de la demarcación, donde las alturas son mayores y las pendientes más abruptas.
Rampa acumulativa erosiva con procesos de sedimentación	Relieve de acumulación formando por superficies de depósitos sedimentarios y/o Planicies acumulativas. Combina el proceso de acumulación y el de erosión.	Se ubica en una buena parte de la zona norte y noreste, en los límites con el municipio de Texcoco.
Valle aluvial con procesos de acumulación	La forma principal de este tipo de relieve es un cauce, seguido de una planicie o llanura de inundación y terrazas. El cauce presenta escurrimiento temporal o permanente, por lo que varía su nivel a lo largo del año, en ocasiones alcanza su nivel máximo sobre todo en temporada de lluvias desbordándose hacia la planicie de inundación, la cual generalmente se desarrolla hacia un lado.	Se localizan en el centro, oriente y sur del territorio donde existe acumulación de materiales.

1.3 Datos físicos

1.3.1 Relieve y topografía

El relieve del municipio aparece con una planicie accidentada. Al sur y oriente tiene pequeños lomajes como son: La Copalera, La Noria, El Árbol Huérfano, Chocoatlaco, El Zapote, El Portezuelo, La Campana, El Potrero, entre otros. Hay un cerro llamado “El Tejocote” cerca de la cabecera municipal. Chicoloapan no tiene ningún río permanente y sólo en tiempos de lluvias se forman corrientes que ocupan las barrancas llamadas Las Marianas, y la de Tlalmimilolpan. También carece de manantiales, por lo que el agua es extraída de pozos profundos para abastecer a los habitantes.

En la siguiente imagen (fig. 1.5) se observa la topografía del predio a estudiar.

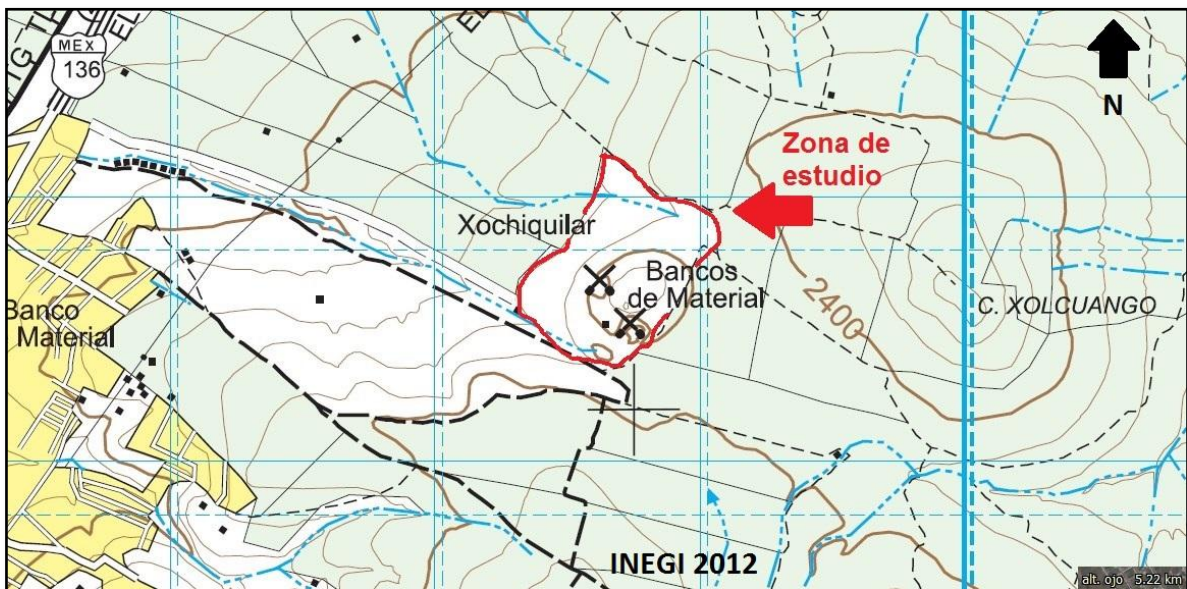


Fig. 1.5 Topografía de la zona

1.3.2 Clima

Predomina el clima templado, semiseco y con lluvias en verano. En el invierno generalmente baja la temperatura hasta 5 °C. La temperatura promedio es de 25 °C y lluvia anual de 640 mm. La temperatura máxima ha alcanzado los 34.5 °C.

Clima	Descripción	Ubicación
BS1kw	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C, temperatura del mes más caliente menor de 22 °C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	Se encuentra en la parte poniente del municipio, abarcando la mayor parte de la zona urbana.
C(w0)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.	Es el clima que abarca la mayor extensión del municipio. Se encuentra en la zona centro y sur del territorio, desde las llanuras hasta las laderas del volcán Xolcuango
C(w1)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	Se ubica al oriente del municipio, en la zona donde la pendiente comienza a incrementar. En esta porción de encuentran los lomeríos.
C(w2)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	Se localiza en una pequeña porción de la zona extrema Oriental, en las partes más altas del municipio.

De acuerdo con el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964), para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana, la zona de estudio se ubica dentro del grupo de climas secos, subtipo semiseco templado con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10 % del total anual.

La mayor incidencia de lluvias se registra en los meses de junio a septiembre, en tanto que las precipitaciones mínimas se presentan en los meses de noviembre a marzo.

A continuación se presentan las principales características de esta estación:

Temperatura media anual:	14.80 °C
Temperatura media máxima mensual:	18.50 °C
Temperatura media mínima mensual:	12.40 °C
Precipitación media anual:	680.70 mm
Precipitación media máxima mensual:	148.00 mm en junio
Precipitación media mínima mensual:	9 a 12 mm en dic.- feb.
Época de lluvia:	más de 100 mm junio a septiembre
Época de estiaje:	menos de 25 mm noviembre a abril

2. METODOLOGÍA

2.1 Estudios y análisis

2.1.1 Geología

Desde el punto de vista regional, la zona de estudio se localiza dentro de la provincia magmática del Eje Neovolcánico Transmexicano (Demant y Robín, 1975), la cual corresponde a una estructura volcánica que tuvo su principal actividad durante el Cenozoico Superior. La composición litológica de dicho eje es muy variable, ya que son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, además de unidades dacíticas.

Estructuralmente, el área se encuentra afectada, principalmente en las porciones altas de las sierras y ocasionalmente en los valles, por fallas geológicas en las estructuras y fracturamiento en las rocas, con orientación, dentro de ésta región, de SW-NE para las primeras, así como de SW-NE y NW-SE para las segundas.

La zona de estudio se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana, misma que se encuentra cubierta principalmente por materiales de origen ígneo, con edades del Terciario Superior al Cuaternario.

A continuación se presentan algunas imágenes del área de estudio (fig. 2.1, 2.2 y 2.3)



Fig. 2.1 Zona sur del área de estudio, se aprecia la toba y la roca ígnea extrusiva (tezontle).



Fig. 2.2 Zona este del área de estudio, roca ígnea extrusiva (tezontle).



Fig. 2.3 Zona oeste de la zona de estudio, se aprecian las rocas ígneas extrusivas (tezontle y piroclastos).

A continuación se da una breve descripción de las unidades litológicas que afloran en la región, así como dentro del área de estudio, iniciando de la más antigua a la reciente.

➤ *Terciario - Cuaternario*

Rocas piroclásticas

Esta unidad se encuentra constituida de piroclastos, brechas de tobas y grava volcánica, que se presentan interestratificadas con depósitos de lahar y capas delgadas de pómez, además de derrames volcánicos basálticos.

Estos depósitos forman grandes abanicos aluviales en las cuencas antiguas, alcanzando espesores cercanos a los 600 m de los cuales en algunos sitios, 200 m corresponden a agregados de derrames lávicos.

Esta unidad aflora, hacia las porciones sur-oriental y oriental de la zona de estudio, cubriendo inclusive una parte de estos terrenos.

➤ *Cuaternario*

Los afloramientos y depósitos cuaternarios que afloran en esta región, se presentan como rocas volcánicas y depósitos lacustres y aluviales, respectivamente.

➤ *Rocas volcánicas*

Las rocas volcánicas se encuentran cubriendo discordantemente a los depósitos clásticos y volcánicos del Terciario y Plio - Cuaternario. Se encuentra constituida esta unidad por lavas, cenizas y depósitos piroclásticos, de composición principalmente andesítica - basáltica.

2.1.2 Geología regional

Para comprender la geología de los depósitos sobre los que se encuentra localizada la Cuenca del Valle de México y en particular el área de interés, se describen a continuación tres factores de referencia importantes en cuanto a la formación de los sedimentos en la zona de interés: paleoclimático, geológico y vulcanológico.

a) Factor paleoclimático

El clima uniformemente cálido y a menudo desértico del Plioceno en las latitudes de la Meseta Central Mexicana, cedió en el Pleistoceno a climas cambiantes y extremos, generando las causas de grandes cambios, que afectaron toda la Tierra hace dos millones de años.

El cambio inicia con ligeras oscilaciones de períodos calurosos a fríos, los que se fueron acentuando hasta hace un millón de años en que se inició una primera gran glaciación (Nebraska), con duración aproximada de 100,000 años.

Siguió un lapso de clima caluroso, el cual cedió a un segundo período de glaciación prolongada (Kansas).

Posteriormente se produjo un lapso extenso de clima caliente de unos 200,000 años. Este intervalo se denomina en Norteamérica, el Yasmouth o el Gran Interglacial; imperó hace 400,000 a 600,000 años en todo el orbe.

Siguió un tercer período glacial (Illinois), para el cual se han podido determinar dos avances separados por un periodo con clima moderado. Esta tercera glaciación terminó al desarrollarse de nuevo un clima relativamente cálido a lo largo de 100,000 a 80,000 años; se le conoce como el Tercer Interglacial o Sangamon en Norteamérica.

De nuevo se fue enfriando el clima, imponiéndose la cuarta glaciación (Wisconsin) caracterizada por tres oscilaciones y dos estadales de clima templado que terminó hace 10,000 años aproximadamente. En este tiempo principió el Holoceno o Reciente, período climático templado tendiendo a caliente que representa el clima actual.

Cabe señalar que todas las manifestaciones glaciales descritas sobreyacen a secuencias de suelos rojos del tipo interglacial o sea el Yasmouth. Este horizonte indicador paleoclimático define los fenómenos de origen glacial como perteneciente a la tercera glaciación.

Uno de los productos típicos acompañado de la existencia de glaciares son los suelos eólicos. Las llamadas brisas del valle y de la montaña que se desarrollan hoy en día en la cuenca deben haberse acentuado durante el periodo de los climas glaciares, transformándose en vendavales. Es casi seguro que estos fuertes vientos acarrearán importantes volúmenes de partículas finas de polvo volcánico al interior de la cuenca. Al precipitarse este polvo (llamado loess) en el lago, se hidrata fácilmente creando las conocidas arcillas lacustres de la cuenca; con lo anteriormente escrito se interpreta hoy, que las arcillas son el producto principal de la alteración físico-química de loess glaciales.

b) Factor geológico

La Cuenca de México se localiza en la parte central del país, y está limitada por la sierra del Chichinutzín, sierra de las Cruces, La sierra de Hidalgo y La Sierra Nevada, esta última situada en la porción oriental del Estado de México.

Los rellenos que conforman el vaso de la cuenca están constituidos en la parte inferior por clásticos derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes. El conjunto de rellenos contiene además capas de cenizas y estratos de pómez producto de las erupciones volcánicas menores y mayores durante el último medio millón de años o sea en el Pleistoceno Superior, que es aproximadamente el lapso transcurrido a partir del inicio del cierre de la cuenca.

En estos rellenos se encuentran desarrollados numerosos suelos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos, fluviales, aluviales y glaciales; estos

suelos, hoy transformados en paleosuelos, presentan indicios del clima en el que fueron formados; los suelos amarillentos son producto de ambientes fríos, los de tonalidades pardas y hasta rojizos son comunes de ambientes templados a subtropicales. Sobre estos últimos rellenos, ha crecido la mancha urbana del Estado de México.

Desde hace 600 años los antiguos pobladores de la Cuenca del Valle de México han tenido que enfrentarse a las características difíciles del relleno; hacia la mitad de este siglo, sus edificios y obras se fueron desplantando sobre los rellenos correspondientes al borde de la planicie, compuestos de sedimentos transicionales; y en lo que va la segunda mitad de la última centuria y hasta la fecha, la urbanización se ha extendido aún más, rebasando los límites de la planicie y subiendo a los extensos flancos orientales de la cuenca, espacio cubierto por los abanicos volcánicos de la Sierra Nevada.

Sus depósitos clásticos difieren en mucho de los depósitos arcillosos superficiales del centro de la cuenca.

c) Factor vulcanológico

Todo material contenido en los depósitos de la Cuenca de México es directa o indirectamente de origen volcánico.

El material de origen **volcánico directo** son, por ejemplo, las lavas de los domos pliocénicos del cerro de Chapultepec y el cerro del Tepeyac. Lo son también las lavas, brechas, tezontles y cenizas del Peñón del Marqués, así como las de la sierra de Santa Catarina, con su hilera de conos escoriáceos juveniles rodeados de lavas y las coladas recientes. Los productos de los derrames volcánicos menores no compiten en variedad y volumen con los de un volcán grande, algunos volcanes con calderas múltiples estuvieron activos desde finales del Plioceno hasta hace unos 100,000 años, habiendo producido en un lapso de dos a tres millones de años erupciones pumíticas de gran volumen y energía, varios kilómetros cuadrados de lavas, además de extensos lahares calientes y fríos, avalanchas ardientes y productos piroclásticos, que han contribuido a la formación de extensos abanicos volcánicos que se conocen como Zona de Lomas.

Entre las erupciones más espectaculares, ocurridas en el Pleistoceno Superior, destacan las conocidas arenas azules que irrumpieron al formarse la caldera del cerro San Miguel, hace unos 170,000 años, es decir, a mediados de la tercera glaciación.

Al precipitarse los piroclásticos sobre las superficies glaciales en las cumbres del volcán, el vapor producido generó lahares calientes que descendieron con velocidades extraordinarias a distancias de hasta 20 km del cráter, para depositarse en las barrancas.

Los depósitos **volcánicos indirectos** están representados por las acumulaciones de polvo eólico. En las regiones volcánicas abundan clásticos finos derivados de cenizas volcánicas. Generalmente el viento levanta este polvo y lo transporta a grandes distancias, depositándolo en laderas durante períodos de clima frío, el cual se transforma en suelos que con el transcurso del tiempo se tornan amarillentos con predominancia en las lomas. Sin embargo, si estos sedimentos se depositan en un lago, como en el antiguo vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan transformándose en arcillas.

Por otra parte, si se asientan durante un interglaciar, o sea cuando impera un clima relativamente caliente, se producen suelos con coloides; estos suelos con el tiempo se transforman en suelos de tonalidades rojizas.

Los suelos rojos, ricos en coloides, son característicos del *Sangamon* relacionados con los períodos glaciales, especialmente a finales de ellos, por los cuales crecieron arroyos y ríos caudalosos. Los deshielos generaron potentes depósitos fluviales que se reconocen hoy en numerosos puntos de las Lomas, así como al pie de ellas en la transición a la planicie central, formando abanicos aluviales.

2.1.3 Geología local

Como se comentó en los párrafos anteriores, las condiciones paleoclimáticas han ayudado a determinar la secuencia estratigráfica de los depósitos lacustres, y las posibles correlaciones entre los depósitos de lago, transición y de las lomas.

a) Depósitos de lagos

Corresponden a los sedimentos presentes en la planicie de la cuenca, constituidos por suelos arcillosos blandos, como producto de cambios físico químicos en los materiales aluviales, de cenizas volcánicas en ambientes de lago y la alteración de estos depósitos combinados con factores de origen biológico (vegetación acuática y microorganismos) y climático.

En el área de interés estas arcillas presentan espesores de algunos pocos metros. Hay presencia de materiales volcánicos aéreos, como tobas o cenizas que cubren prácticamente toda la zona con depósitos de arena basáltica.

b) Depósitos de transición

Los depósitos lacustres del centro de la cuenca se van graduando a medida que se acercan a las sierras, lo que ocurre es que entre las arcillas van intercalándose capas de suelos limosos, cuerpos de arenas fluviales y en ciertos casos como en la desembocadura de arroyos y ríos, con depósitos de gravas o arenas gruesas. Obviamente, las aportaciones fluviales de las partes topográficamente más elevadas se van degradando a medida que se adentran hacia la planicie de la cuenca.

En esta zona el lago nunca fue profundo, de ahí que los arroyos que desembocan en la planicie, no han logrado formar deltas extensos caracterizados por el aporte de una gran cantidad de material.

Los clásticos fluviales y aluviales se han acumulado consecuentemente en las zonas próximas a los cerros, interestratificándose localmente con arcillas lacustres.

Como consecuencia de lo anterior se deduce que han existido transgresiones y regresiones lacustres. El resultado de esta alternancia fue la depositación de arcillas y/o formación de suelos, mismos que se presentan en los alrededores del predio.

2.1.4 Estratigrafía local

Dentro de la zona de trabajo se manifiestan preponderantemente algunas rocas que por su posición pueden considerarse como estratos, los cuales están integrados por tres horizontes principales.

1. Aluvión.- Son arcillas superficiales presentadas como depósitos blandos de color pardo claro a pardo oscuro, en un horizonte de 1.00 m aproximadamente, deshidratado, fisurado y muy deleznable; el paquete de este material llega a medir hasta 3.00 m.
2. Rocas ígneas extrusivas.- Son las manifestaciones de un volcán extinto que actualmente es utilizado como banco de préstamo para materiales de construcción. Las rocas están presentes en casi todo el terreno en estudio y están representadas por tezontle y piroclastos de diversos tamaños; su composición mineralógica es del tipo básico.
3. Tobas.- Se presentan en las inmediaciones del volcán conformado por las rocas ígneas extrusivas mencionadas en el párrafo anterior y son las rocas preexistentes que fueron desplazadas lateralmente durante el nacimiento del volcán. Son antiguos depósitos de cuenca depositados en el ex lago de Texcoco. Es una toba lítica medianamente consolidada de carácter areno arcillosos de color pardo claro, en horizontes medios de 2 a 5 m de espesor.

2.1.5 Hidrogeología

Tomando en cuenta la descripción de las unidades litológicas expresadas anteriormente, se dan a continuación las características hidrogeológicas de cada una de ellas.

Es conveniente mencionar que el acuífero en que se ubica el predio en estudio, es para este caso del tipo libre, pues el mismo volcán que corresponde al predio, le imprime parte de esta característica.

- Aluvión.- De impermeables a poco permeables

El contenido litológico que presenta esta cubierta superficial es de arcillas plásticas con contenido orgánico. Su uso regional y local se constriñe a la agricultura; dadas sus características mineralógicas y de depositación, hace que ostente una **conductividad hidráulica muy baja**, consideración que parte de la base, de que son materiales medianamente consolidados; en las porciones que se encuentra ausente el contenido de agua, se presentan fracturadas por desecación, permitiéndoles que adquieran una permeabilidad secundaria.

- Rocas Ígneas Extrusivas.- De medianamente permeables a muy permeables

De acuerdo con Davis K. Todd (1981), para una mezcla de rocas de esta naturaleza, el valor de la conductividad hidráulica varía entre 1 y 10 m/día, lo que logra sin duda alguna, que este grupo volcánico tenga posibilidades de almacenar agua.

Esta unidad litológica, puede tener un funcionamiento geohidrológico de recarga a unidades subyacentes permeables, siempre y cuando las lavas y materiales no consolidados, no se encuentren sanos ni empacados en arcillas, respectivamente, en cuyo caso, cambiarían para formar un confinamiento a la unidad permeable.

Dentro de la zona de estudio, esta unidad es la más importante para el alimentar al acuífero y por ende para el emplazamiento de pozos profundos en sus inmediaciones, ya que aflora dentro de los terrenos de interés y además se ubica formando las porciones elevadas y bajas del predio en cuestión, por lo anterior esta unidad puede tener una **conductividad hidráulica alta**, lo que le infiere una permeabilidad de media a alta.

- Tobas.- De baja a medianamente permeables

Estas rocas son las que circundan el volcán y ocupan la mayor parte del predio en estudio. Son los materiales preexistentes a la formación del aparato ígneo. Son sedimentos de cuenca depositados de manera horizontal, los cuales fueron atravesados por la lava durante la génesis del volcán. Su conductividad hidráulica es variable regionalmente, pues será más permeable cuando más contenido de gravas y arenas contenga, y será menos permeable cuando exista predominancia del material arcilloso. Por lo anterior se le puede considerar de poco a medianamente permeable.

Estos materiales son de grandes espesores y conforman el acuífero regional que circunda y subyace a las rocas volcánicas descritas en el inciso anterior.

a) Censo de aprovechamientos hidráulicos

Durante el censo realizado alrededor del predio se contabilizaron un total de 49 pozos de agua, estos pozos tienen diferentes usos, de los cuales se obtuvo la información relativa a: volumen de extracción de aguas nacionales ($m^3/año$), región hidrogeológica, acuífero, ubicación y fecha de registro.

Del total de 49 pozos se contó que 8 son de uso múltiple, 2 de uso doméstico, 3 de uso pecuario, 18 de uso de servicios, 9 de uso industrial, 4 de uso público urbano, 5 de uso agrícola.

Todos los pozos se encuentran ubicados dentro de la región hidrogeológica del río Pánuco.

La información de cada pozo censado y sus detalles se consignan en el anexo correspondiente al final de este texto.

b) Ubicación geográfica de aprovechamientos hidráulicos

La ubicación geográfica de los pozos poniendo como origen la zona estudiada muestra que la mayoría de los pozos se localizan en la parte norte y sólo uno al sur. Las coordenadas de cada aprovechamiento se encuentran dentro del anexo de aprovechamientos hidráulicos, al final de este texto.

A continuación se muestra la imagen de la localización de los pozos de agua alrededor de la zona de estudio (fig. 2.4).

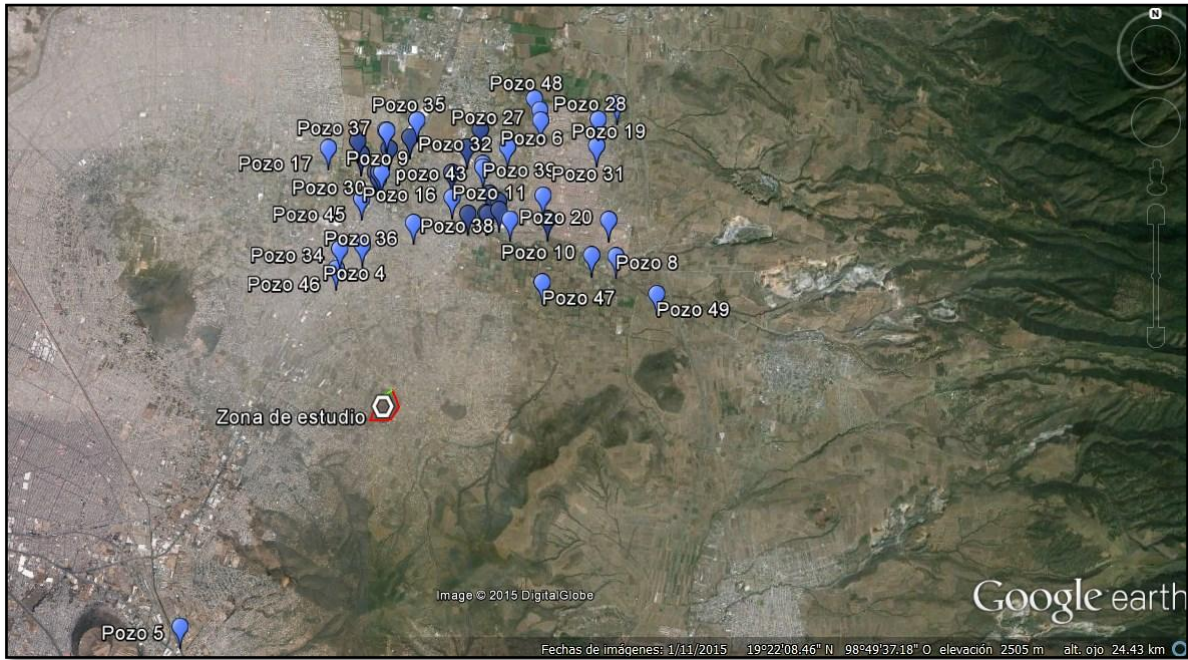


Fig. 2.4 Localización de pozos de agua cerca de la zona estudiada

2.1.6 Geofísica

a) Fundamentos teóricos del método utilizado

La geofísica es una herramienta de exploración indirecta que permite obtener amplia información del subsuelo con menos recursos y en menor tiempo en comparación con métodos directos. La geotecnia se apoya en esta disciplina para dar una solución a diversos problemas durante la planeación, ejecución y monitoreo de diferentes obras civiles y de infraestructura. En este caso se utilizó el método de resistividad eléctrica en la modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical con dispositivo Schlumberger.

b) Método de resistividad eléctrica en la modalidad del sondeo eléctrico vertical con dispositivo Schlumberger

Es uno de los métodos más eficaces cuando se trata de realizar investigaciones sobre las características y formas de las estructuras del subsuelo, sobre todo en lo referente a: litología, saturación de agua, rellenos no consolidados, profundidad de la roca base, localización de fallas y fracturas, cavidades y minerales, etc.

El método de resistividad eléctrica, se basa fundamentalmente en la propagación de la corriente eléctrica en el subsuelo, cuya técnica consiste en aplicar un campo eléctrico al terreno de estudio y medir tanto la corriente, como los efectos que esa corriente provoca, es decir la diferencia de potenciales que se genera.

Mediante el empleo del arreglo electródico Schlumberger es posible estudiar variaciones de resistividad, con la profundidad; esto se logra incrementando el espaciamiento de los electrodos de corriente gradualmente para ampliar el campo eléctrico y determinar los cambios de este (SEV). Un SEV puede realizarse sobre cualquier combinación de formaciones geológicas, sin embargo para que la curva de resistividad aparente sea interpretable, el subsuelo debe estar formado por capas horizontales y homogéneas. En muchos casos la realidad se acerca lo suficiente a esta descripción teórica para que los resultados sean confiables.

El estudio del comportamiento eléctrico de los materiales se fundamenta en la ley de Ohm, que establece que la relación entre una corriente (I) al pasar por un cuerpo, genera una caída de potencial (V), debido a la resistencia (R) que se opone al paso de ella. Matemáticamente se expresa por medio de la relación:

$$V = IR$$

Está plenamente demostrado que si una corriente eléctrica uniforme fluye a través de un cilindro de composición homogénea en dirección de su eje (Figura 2.5), la resistencia eléctrica que presenta se manifiesta directamente proporcional a su longitud L e inversamente proporcional a su sección transversal (A), dando por resultado que la resistencia eléctrica medida esté dada según la siguiente relación:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Dónde: R =resistencia

ρ = resistencia; depende de la naturaleza y estado físico del cilindro

L = longitud del cilindro

A = sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente

J =densidad de corriente (la flecha indica la dirección)

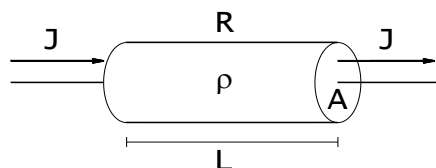


Figura 2.5 Flujo de corriente a través de un circuito.

Una vez que se obtiene el valor de I y ΔV , se calcula la resistividad aparente mediante la relación:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

Donde K , es un coeficiente que depende únicamente de la geometría del dispositivo electródico y cuyas dimensiones son las de una longitud:

$$k = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$$

En la ejecución de cada SEV, con los electrodos MN de “potencial” se obtiene en superficie el gradiente de potencial (ΔV) que se produce al introducir un campo eléctrico de corriente directa por medio de los electrodos AB de “corriente” que también están en contacto con la superficie (Figura 2.6). En el arreglo tetra polar Schlumberger que aquí se utilizó (Figura 2.7), los electrodos A y B permanecen en línea con los electrodos M y N habiendo independencia entre ellos; durante el levantamiento de datos, A y B cambian simétricamente de distancia. Cuando la lectura del gradiente de potencial (ΔV) se vuelve muy pequeña, es necesario incrementar la separación entre los electrodos M y N para aumentar la resolución de las mediciones, teniendo en cuenta la restricción $AB \geq 5 MN$, que es característico del dispositivo utilizado.

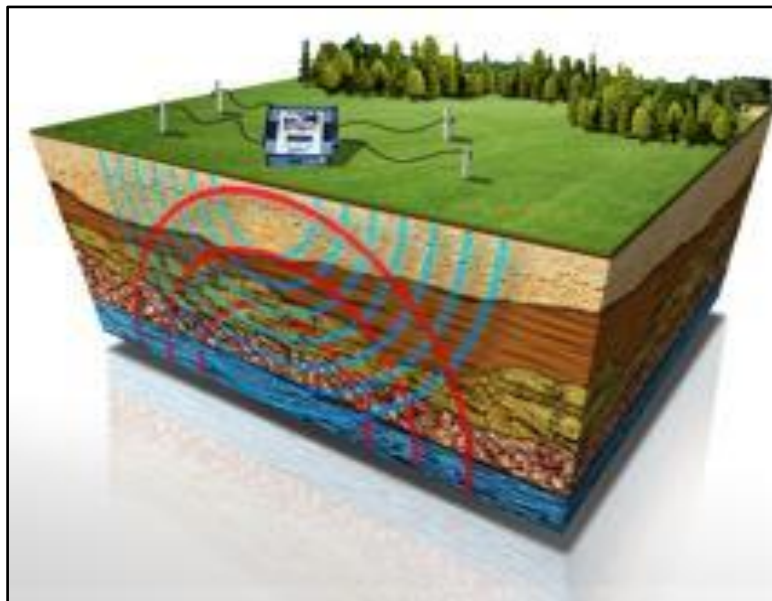


Figura 2.6 Fundamentos teóricos del método.

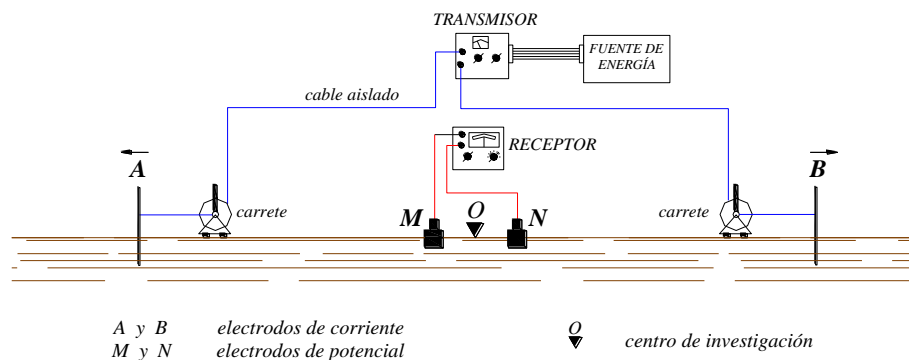


Figura 2.7 Arreglo tetra polar Schlumberger.

El espaciamiento de electrodos de corriente (AB) depende de los objetivos que se busquen, conforme se abren A y B la profundidad de investigación es mayor, teóricamente se considera que dicha profundidad es la distancia AB/2, sin embargo realmente es mucho menor, lo cual dependerá de la geología del área de estudio. Las aberturas utilizadas de AB/2 son: 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 130, 160, 200 y 250 metros, etc.; aunque puede incrementarse o decrementarse la distancia entre los electrodos AB. En el caso particular del presente proyecto se trabajaron aberturas de 200 metros.

ROCA/MINERAL/MATERIAL/AGUA	RESISTIVIDAD $\Omega - m$
ARCILLAS	1 - 20
ARENAS	50 - 500
ARENISCAS	50 - 5,000
ARENAS Y GRAVAS SECAS	1,000 - 10,000
ARENAS Y GRAVAS CON AGUA DULCE	50 - 500
ARENAS Y GRAVAS CON AGUA SALADA	0.5 - 5
ARENAS ARCILLOSAS	50 - 300
ARENAS DE CUARZO	30 - 10,000
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN GRANITO Y ROCAS	20 - 100
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CALIZAS Y ACARREOS	20 - 50
AGUA POTABLE SUPERFICIAL	20 - 300
AGUA DESTILADA	>500
CONGLOMERADO	1,000 - 10,000
CALIZAS	300 - 10,000
BRECHA VOLCÁNICA	100 - 2000
ESQUISTOS GRAFITOSOS	0.5 - 5
ESQUISTOS ARCILLOSOS O ALTERADOS	100 - 300
ESQUISTOS SANOS	300 - 3,000
GRANITO	300 - 10,000

Tabla 2.1 Intervalos de resistividades más comunes de rocas, suelos y agua en diversas regiones.
(Tomada del libro Ingeniería Geológica de Luís I. González de Vallejo)

Los valores de resistividad de una roca están determinados más que por su composición mineralógica, granulometría, cantidad y calidad del agua de formación, fundamentalmente por la porosidad y salinidad del agua. Todo esto

hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una gran variación. En general en campo encontraremos los valores que se aproximan en los intervalos que se muestran en la tabla 2.1

En rocas buscaremos las resistividades medias a bajas, que indican que la formación presenta fracturamiento y/o alteración. En este caso también puede que las zonas de menor resistividad no sean permeables si los planos de fracturamiento han sido ocupados por arcillas producto de alteración.

Es importante tener en cuenta que en materiales clásticos la resistividad aumenta con el tamaño del grano; en una investigación hidrogeológica en este tipo de litología buscaremos resistividades altas que indican la presencia de materiales más gruesos, es decir de mayor permeabilidad.

En una región determinada, la geología y la interpretación e integración adecuada de la geofísica nos indicará que valores concretos de resistividad presenta cada una de las formaciones; en otras ocasiones estos valores pueden obtenerse al realizar un SEV en un punto donde exista una perforación de la que conozcamos su columna litológica lo cual llamaremos "SEV de calibración", lo que es más correcto y recomendable con la desventaja que en la mayoría de los estudios no existen los datos del corte o en su caso no hay perforación.

c) Procesamientos de datos de los sondeos eléctricos verticales

Para cada sondeo eléctrico grafiqué los valores calculados de resistividad ρ contra la distancia $AB/2$ en papel bilogarítmico, resultando la curva de resistividad aparente ρ ; posteriormente se hace un ajuste por "empalme", convirtiendo las curvas de cada SEV en trazos continuos (Fig. 2.8). En estas gráficas se observa que los puntos de inflexión característicos corresponden a cambios en las propiedades físicas del subsuelo y están directamente relacionados a cambios litológicos, esta información analizada adecuadamente con la información geológica, es de gran importancia, pues de ello depende una interpretación acertada de la litológica del subsuelo.

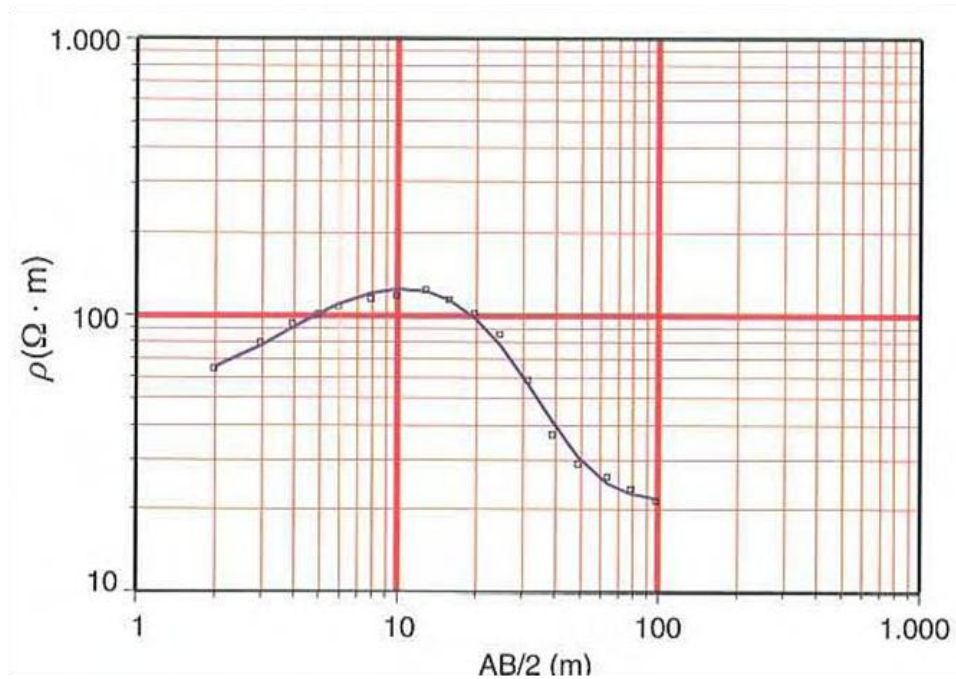


Fig. 2.8 Graficado de valores de resistividad obtenidos en campo.

Una vez obtenidas las curvas de resistividad aparente para cada SEV, se genera un modelo con el método de punto auxiliar, empleando curvas patrón de dos capas y sus correspondientes gráficas auxiliares A, H, K y Q; realizando los cálculos correspondientes se obtienen las resistividades verdaderas.

Finalmente el modelo de SEV preliminar es ajustado con el programa de cómputo O' Neil. Con el cual se genera "n" modelos geoelectrónicos para cada SEV, sin embargo el intérprete debe seleccionar el modelo que se ajuste a las características geológicas que presenta el subsuelo (Fig. 2.9) y finalmente se conforman las secciones geoelectrónicas correspondientes.

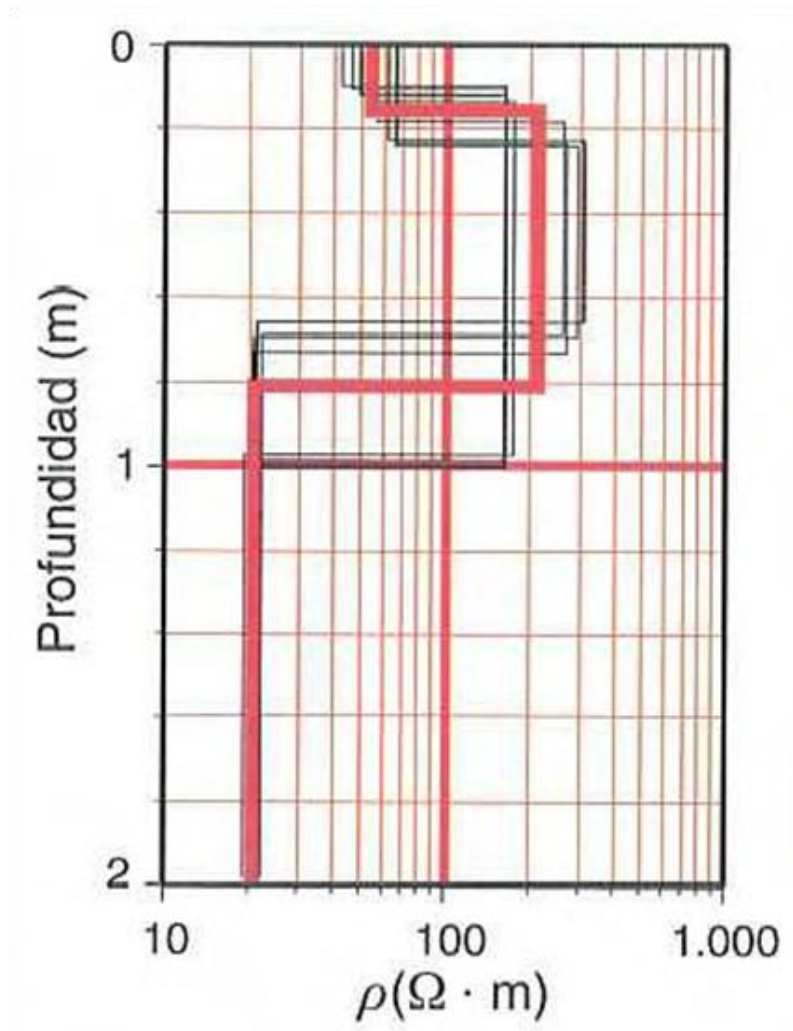


Fig. 2.9 Diversidad de modelos geoelectricos (negro) y corte geoelectrico seleccionado (rojo).

d) Descripción del equipo utilizado

El equipo utilizado para la ejecución del levantamiento de campo consistió de un transmisor marca GEOELEC, modelo Tlalli-1500 cuyas características son: salida 10 Amp. Max., 50 a 1000 VCD en 11 pasos, dominio de tiempo de 2 y 4 s, con un moto-generator MG-1.5 de 1850 w, 120 VCA nominal, 60 Hz; como receptor fue empleado un multímetro digital con eliminador de potencial natural; así como también los accesorios concernientes al equipo de trabajo (Fig. 2.10).



Fig. 2.10 Equipo Geofísico de campo.

e) Análisis de información

El análisis profundo de la información geoelectrica recolectada requiere de los siguientes dos tipos de presentación:

❖ Perfiles de isorresistividad aparente

La finalidad de estas secciones es mostrar en forma objetiva el comportamiento vertical y la distribución horizontal de la resistividad a lo largo de la sección para inferir cualitativamente rasgos estructurales y variaciones litológicas del subsuelo a una profundidad dada.

❖ Secciones geoelectricas o electro estratigráficas

Con los parámetros reales de los modelos geoelectricos estratificados (resistividades-espesores), se forman secciones geoelectricas a manera de una sección geológica elaborada con perforaciones. En tal sección las unidades de resistividad real reproducen cercanamente la posición, forma y otras características del subsuelo tales como fallamientos. La evaluación en este caso es cuantitativa, deduciéndose los rasgos geológicos principales con la ayuda de pozos y afloramientos de roca.

f) Localización de sondeos eléctricos verticales

Para el área de estudio se realizaron seis sondeos eléctricos verticales con el arreglo Schlumberger, cuya ubicación y distribución de las secciones se muestra en la fig. 2.11



Fig. 2.11 Localización de sondeos eléctricos verticales y distribución de las secciones geoelectricas

A continuación se presenta una tabla con las coordenadas UTM con el DATUM WGS84 y Geográficas de los SEV's realizados (Tabla 2.2).

COORDENADAS

SEV's	UTM		GEOGRÁFICAS		ELEVACIÓN (m.s.n.m.)
	ESTE	NORTE	LONGITUD OESTE	LATITUD NORTE	
1	508,344	2'142,603	98°55'13.95"	19°22'39.11"	2384
2	508,519	2'143,005	98°55'7.94"	19°22'52.18"	2371
3 CAL	508,481	2'142,794	98°55'9.25"	19°22'45.32"	2356
4	508,773	2'143,168	98°54'59.23"	19°22'57.48"	2383
5	508,896	2'142,847	98°54'55.02"	19°22'47.03"	2407
6	508,728	2'142,616	98°55'0.78"	19°22'39.52"	2398

Tabla 2.2 Coordenadas de los sondeos eléctricos verticales, en UTM y geográficas.

La ubicación precisa de los sondeos eléctricos verticales se muestra en las siguientes fotos:



Fig. 2.12 Panorámica del SEV-1



Fig. 2.13 Localización del SEV-1



Fig. 2.14 Panorámica del SEV-2



Fig. 2.15 Localización del SEV-2



Fig. 2.16 Localización del SEV-3 CAL



Fig. 2.17 Panorámica del SEV-3 CAL



Fig. 2.18 Localización del SEV-4



Fig. 2.19 Panorámica del SEV-4



Fig. 2.20 Localización del SEV-5



Fig. 2.21 Panorámica del SEV-5



Fig. 2.22 Localización del SEV-6



Fig. 2.23 Panorámica del SEV-6

g) Resultados alcanzados

Con base en la interpretación de los seis sondeos eléctricos verticales, se realizó una correlación de los sondeos formando tres secciones geofísicas. Están constituidas por sus perfiles de isorresistividad aparente y sus respectivas secciones geoelectricas, las cuales se describirán en lo siguiente:

g.1) Perfiles de isorresistividad aparente

Se muestra en forma objetiva el comportamiento de las estructuras geológicas del subsuelo y la distribución de las resistividades aparentes.

Perfil de isorresistividad aparente A-A'

Este perfil está integrado por los sondeos 1, 2 y 4, tiene una longitud de 740 m y profundidad aproximadamente de 250 metros, como lo muestra la fig. 2.24. Se observan cuatro cambios significativos en el perfil que van desde tonos azul-cyan, verde-amarillo, rojo y violeta-morado, en la parte superficial en tonos azul-verde se correlacionan con depósito de tobas limo-arenosas y areno-limosas, de permeabilidad media en los granulares y baja en los finos.

Las tonalidades amarillas, indican la transición entre las tobas y los depósitos piroclásticos. En tonos rojos corresponden a depósitos constituidos por escorias volcánicas con intercalaciones de arenas, gravas y basalto de permeabilidad media según Darcy. En tonalidades violeta-morado se asocia a un derrame de basalto posiblemente fracturado con intercalaciones de brecha volcánica. Estructuralmente no se observan fallas y/o fracturas geológicas.

PERFIL DE ISORRESISTIVIDAD A-A'

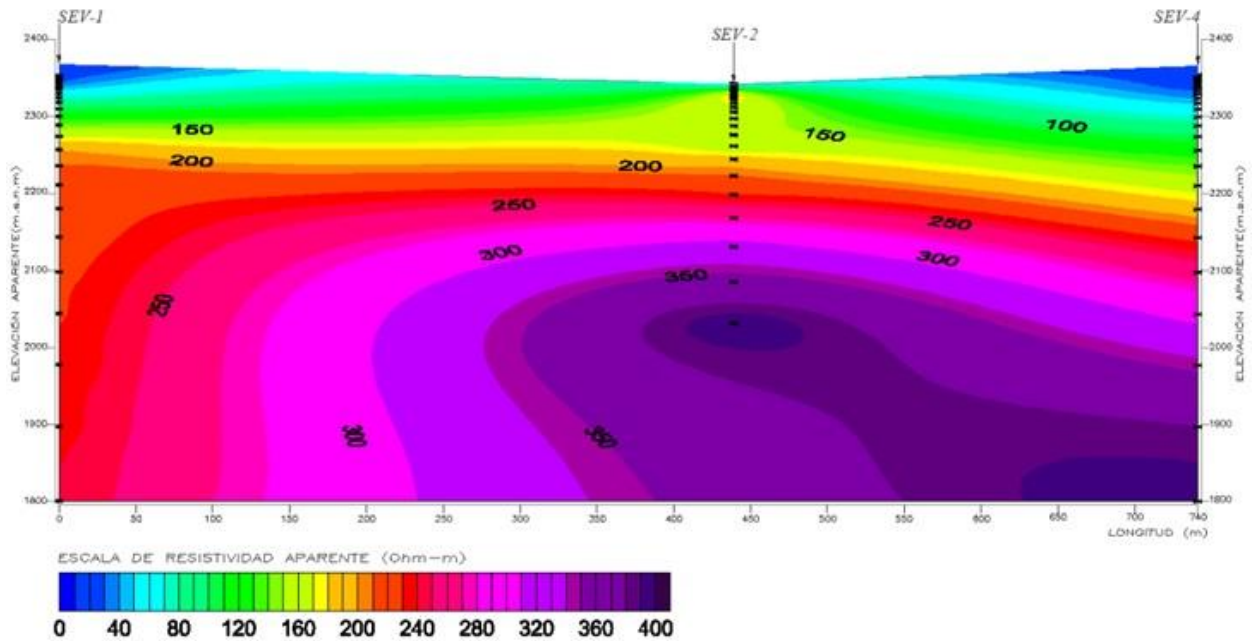


Fig. 2.24 Sección de isorresistividad aparente A-A'

Perfil de isorresistividad aparente B-B'

Este perfil está integrado por los sondeos 1, 6 y 5, tiene una longitud de 670 m, como lo muestra la fig. 2.25. Los tonos azules-verde que se presentan en la parte superficial y se correlacionan con depósitos de tobas arcillo-limosas y arenolimosas, de permeabilidad media. Las tonalidades amarillas es la transición entre las tobas y los depósitos piroclásticos.

Las tonalidades rojas que se aprecian en la parte inferior del perfil corresponden a depósitos constituidos por escorias volcánicas con intercalaciones de arenas, gravas y basalto de permeabilidad media. En tono violeta-morado se asocia a un derrame de basalto posiblemente fracturado con intercalaciones de brecha volcánica.

PERFIL DE ISORRESISTIVIDAD B-B'

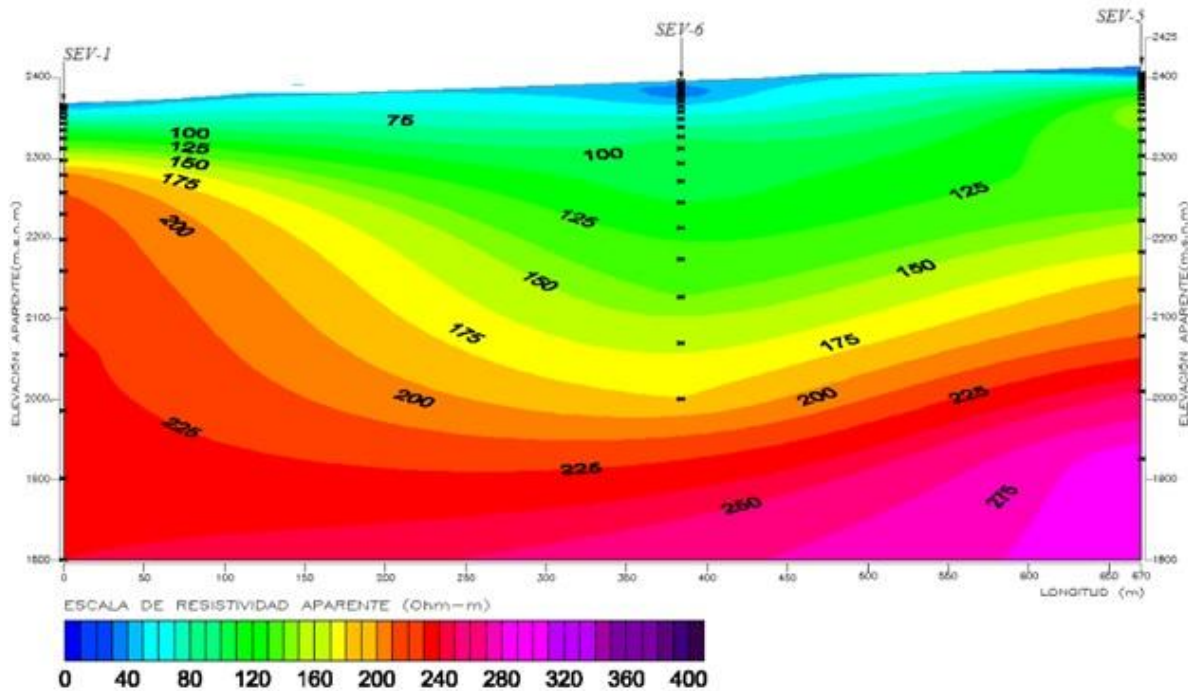


Fig. 2.25 Perfil de isorresistividad aparente B-B'

Perfil de isorresistividad aparente C-C'

Este perfil está integrado por los sondeos 4, 5 y 6, tiene una longitud de 630 m, como lo muestra la fig. 2.26. En la parte superficial se observa en tonalidades azules-verde los depósitos de tobas limo-arcillosas y areno-limosas de permeabilidad media. Los tonos amarillos que se presentan en la parte central se correlacionan con la transición entre las tobas y los depósitos piroclásticos. En tonalidades rojas se asocia a depósitos de escorias volcánicas con intercalaciones de arenas, gravas y basalto. Las tonalidades violeta-morado se asocian a un derrame de basalto posiblemente fracturado con intercalaciones de brecha volcánica de permeabilidad media.

PERFIL DE ISORRESISTIVIDAD C-C'

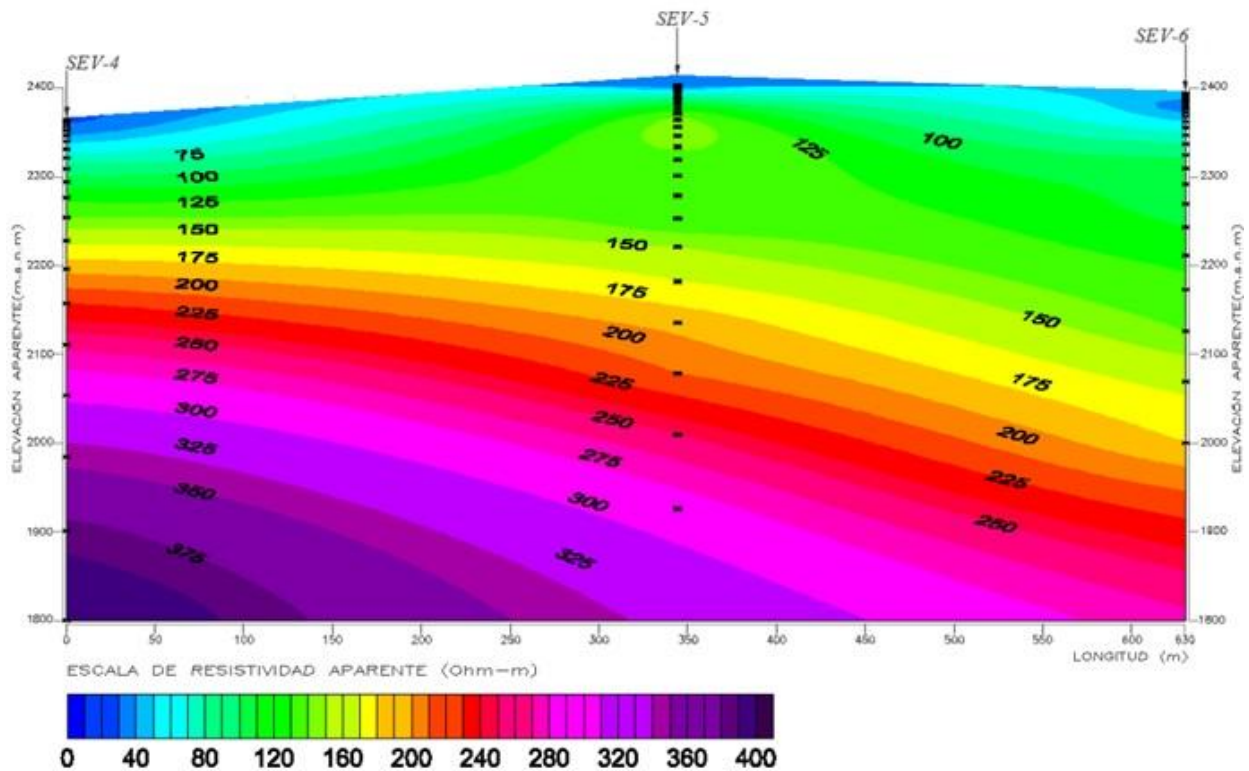


Fig. 2.26 Perfil de isorresistividad aparente C-C'

g.2) Secciones geoelectricas

Con la interpretación de los tres sondeos eléctricos verticales se realizaron tres secciones geoelectricas, donde se aprecian cuatro unidades electroestratigraficas, las cuales se muestran en la fig. 2.27, 2.28 y 2.29.

EXPLICACIÓN





- (A)  RESISTIVIDAD DE 11 A 40 $\Omega\text{-m}$; SE CORRELACIONA CON UN HORIZONTE DE CUBIERTA SUPERFICIAL CONSTITUIDA PRINCIPALMENTE POR TOBAS LIMO-ARENOSAS Y ARENO-LIMOSAS, DE PERMEABILIDAD MEDIA EN LOS GRANULARES Y BAJA EN LOS FINOS.
- (B1)  RESISTIVIDAD DE 70 A 110 $\Omega\text{-m}$; SE ASOCIA CON DEPOSITOS PIROCLASTICOS CONSTITUIDOS POR ARENAS Y GRAVAS DE PERMEABILIDAD MEDIA.
- (B2)  RESISTIVIDAD DE 230 A 325 $\Omega\text{-m}$; SE ASOCIA CON DEPOSITOS CONSTITUIDOS POR ESCORIAS VOLCANICAS CON INTERCALACIONES DE ARENAS, GRAVAS Y BASALTO DE PERMEABILIDAD MEDIA.
- (C)  RESISTIVIDAD DE 900 A 1100 $\Omega\text{-m}$; SE CORRELACIONA CON UN DERRAME DE BASALTO POSIBLEMENTE FRACTURADO CON INTERCALACIONES DE BRECHA VOLCANICA DE PERMEABILIDAD MEDIA.

Tabla 2.3 Unidades geoelectricas.

SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'

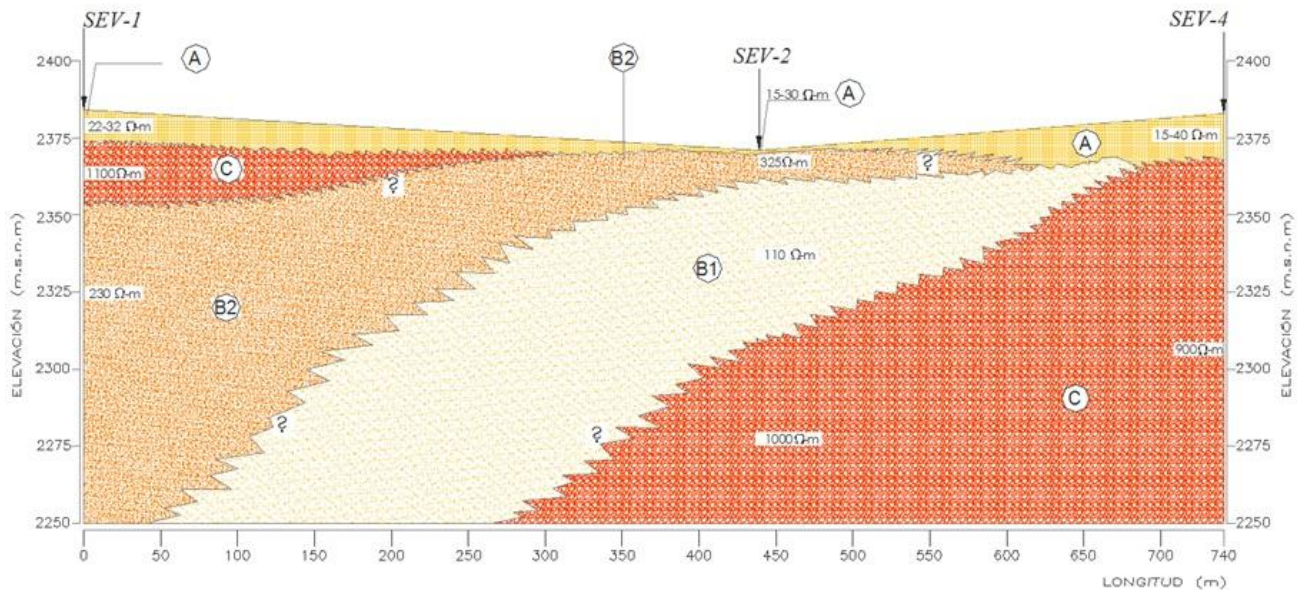


Fig. 2.27 Sección geoelectrica A-A'.

SECCIÓN GEOELÉCTRICA B-B'

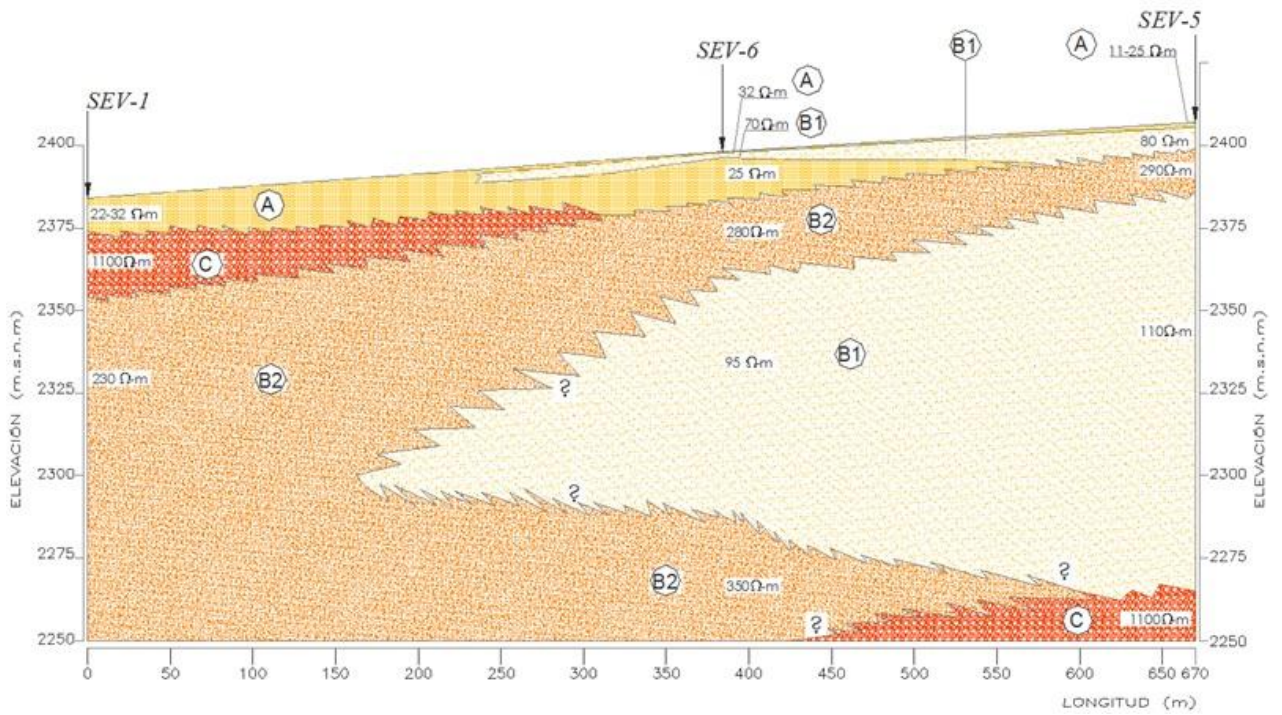


Fig. 2.28 Sección geoelectrica B-B'.

SECCIÓN GEOELÉCTRICA C-C'

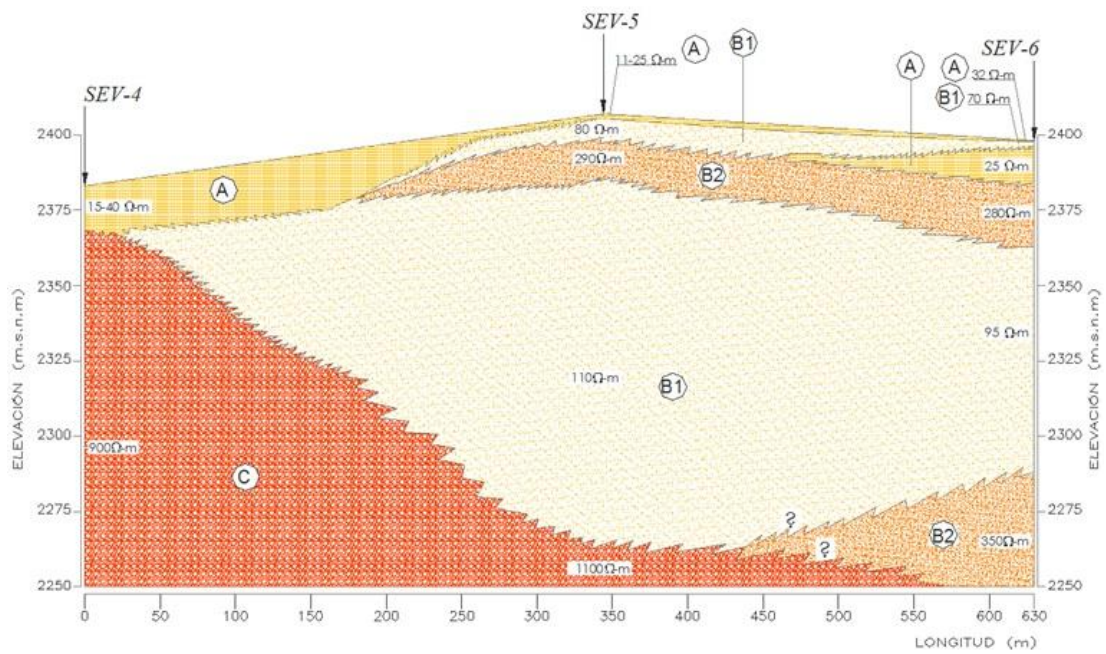


Fig. 2.29 Sección geoelectrica C-C'.

UNIDAD A

Se detectó con resistividades de 11 a 40 Ohm–metro, se correlaciona con la cubierta superficial constituido principalmente por tobas limo-arenosas y arenolimosas de permeabilidad media en los granulares y baja en los finos. Se registró con un espesor promedio de 0.2 a 12 m.

UNIDAD B1

Se detectó con resistividades de 70 a 110 Ohm–metro, se asocia con depósitos piroclásticos constituidos por arenas y gravas de permeabilidad media. Se registró con espesor de 50 m y se registra como base.

UNIDAD B2

Se detectó con resistividades de 230 a 325 Ohm–metro, se correlaciona con un horizonte vulcanosedimentario constituido por escorias volcánicas con intercalaciones de arenas, gravas y basalto de permeabilidad media. Se registró con espesores de 21 m y se registró como base de las secciones realizadas.

UNIDAD C

Presenta resistividades de 900 a 1100 Ohm–metro, se asocia con un derrame de basalto posiblemente fracturado, con intercalaciones de brecha volcánica de permeabilidad media. Se registró como base de las secciones geoelectricas realizadas.

3. PARTICIPACIÓN PROFESIONAL

Fui el encargado principal del proyecto, llevé el reconocimiento de la zona junto con la brigada de geofísicos en el cual determinamos los puntos donde se elaboraron los sondeos eléctricos verticales, levanté la geología del lugar describiendo la zona del volcán, tomé muestras y elaboré dos secciones que me permitieron elaborar un plano de la geología superficial de la zona y otro plano hidrogeológico.

Junto con la brigada de geofísicos elaboré 2 de los 6 sondeos que se hicieron, al momento de haber finalizado los 6 sondeos elaboré el censo de aprovechamientos hidráulicos.

En trabajo de gabinete revisé las muestras para asegurar el tipo de roca que se encontraba en la zona de estudio, busqué más información para elaborar el informe y junto con los resultados que obtuve en campo tanto geológicos y geofísicos elaboré los planos requeridos por la empresa que contrató los servicios y di una conclusión y recomendación para la zona sobre el estudio que se pidió.

CONCLUSIONES

- El ejido de Santa María Chimalhuacán, donde se tiene proyectado el relleno sanitario, se ubica principalmente sobre tobas arenosas y escorias volcánicas con intercalaciones de basalto; mientras que las rocas volcánicas basáltico-andesíticas más cercanas pertenecen a conos volcánicos, por lo cual se asume que se encuentran a mayor profundidad.
- Con la finalidad de apoyar la determinación de la estratigrafía, estructura geológica y las características hidrogeológicas de los materiales en el Ejido de Santa María Chimalhuacán, donde se proyecta la construcción del relleno sanitario, se realizó un estudio de prospección geoeléctrica, utilizando el método de resistividad eléctrica, con la técnica de Sondeo Eléctrico Vertical (Schlumberger), para lo cual se realizaron seis SEV's en el área de estudio, distribuidos en todo el predio mencionado, obteniendo como resultado cuatro unidades geoeléctricas, las cuales se describen en la siguiente tabla.

UNIDADES GEOELÉCTRICAS-HIDROGEOLÓGICAS REGISTRADAS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO

UNIDAD GEOELÉCTRICA	RESISTIVIDAD $\Omega\text{-m}$	ESPESOR PROMEDIO (m)	LITOLOGÍA ASOCIADA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
A	11-40	0.2-12	CUBIERTA SUPERFICIAL CONSTITUIDO POR TOBAS LIMO-ARENOSAS Y ARENO-LIMOSAS	PERMEABILIDAD MEDIA EN LOS GRANULARES Y BAJA EN LOS FINOS
B1	70-110	50 Y BASE	DEPOSITOS PIROCLASTICOS CONSTITUIDOS POR ARENAS Y GRAVAS	PERMEABILIDAD MEDIA A ALTA
B2	230-325	21 Y BASE	DEPOSITOS DE ESCORIAS VOLCANICAS CON INTERCALACIONES DE ARENAS, GRAVAS Y BASALTO	PERMEABILIDAD MEDIA A ALTA
C	900-1100	BASE	DERRAME DE BASALTO POSIBLEMENTE FRACTURADO CON INTERCALACIONES DE BRECHA VOLCANICA	PERMEABILIDAD MEDIA

Resumen de unidades geoelectricas y tipo de material a seccionar

- Los estudios geológico, geofísico y análisis geológico-hidrogeológico concluye que los materiales que conforman el subsuelo en el Ejido donde se proyecta la construcción del Relleno Sanitario de Santa María Chimalhuacán, presentan permeabilidad, por lo que son susceptibles a la infiltración de lixiviados.
- Por este motivo se recomienda no llevar a cabo el relleno sanitario, puede contaminar el acuífero y ser muy perjudicial para los habitantes que reciben el agua de dicho acuífero.

BIBLIOGRAFÍA

- A) ORELLANA E. Y MOONEY H. 1982. TABLAS Y CURVAS PATRÓN PARA SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES SOBRE TERRENOS ESTRATIFICADOS. INTERCIENCIA; MADRID, ESPAÑA.**
- B) GEOLOGÍA DE LA REPÚBLICA MEXICANA, 1984, EDITADA POR EL INSTITUTO DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA.**
- C) SIGEMA SA DE CV, ATLAS DE RIESGOS NATURALES DEL MUNICIPIO DE CHICULOAPAN DE JUÁREZ, 2011, MÉXICO, D.F.**
- D) WALTER T. HUANG PH. D. 1968. PETROLOGÍA. PRIMERA EDICIÓN EN ESPAÑOL, UNIÓN TIPOGRÁFICA EDITORIAL HISPANO-AMERICANA; MÉXICO, D.F.**