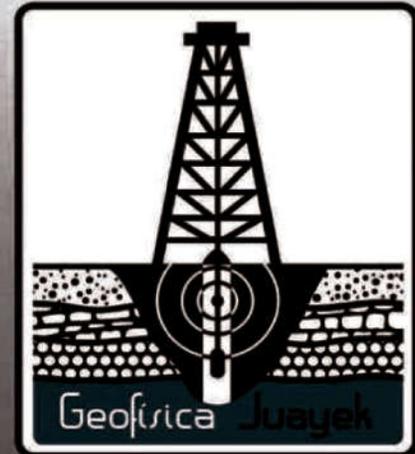


SEDENA

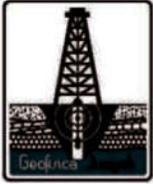
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO CON FINES GEOHIDROLÓGICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN AEROPUERTO MIXTO CIVIL/MILITAR CON CAPACIDAD INTERNACIONAL EN LA BASE AÉREA MILITAR No. 1 (SANTA LUCÍA, EDO. MÉX.), SU INTERCONEXIÓN CON EL A.I.C.M. Y REUBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES MILITARES



ESTUDIO GEOFÍSICO
TEM-2
CAMPUS MILITAR No 37 D
SANTA LUCÍA



GEOFÍSICA JUAYEK

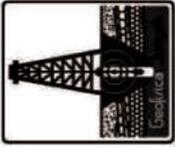
**ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE TRANSITORIO
ELECTROMAGNÉTICO (TEM)
PARA CONOCER LA GEOHIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA DEL CAMPO MILITAR
No. 37-D Y DETERMINAR LAS ZONAS CON MEJORES CONDICIONES PARA
LA PERFORACIÓN DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA, ASÍ COMO DE
POZOS DE INFILTRACIÓN DE AGUA PLUVIAL PARA LA RECARGA
ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO
MUNICIPIO DE ZUMPANGO, ESTADO DE MEXICO**



PARA: SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL

FECHA: JULIO DE 2019

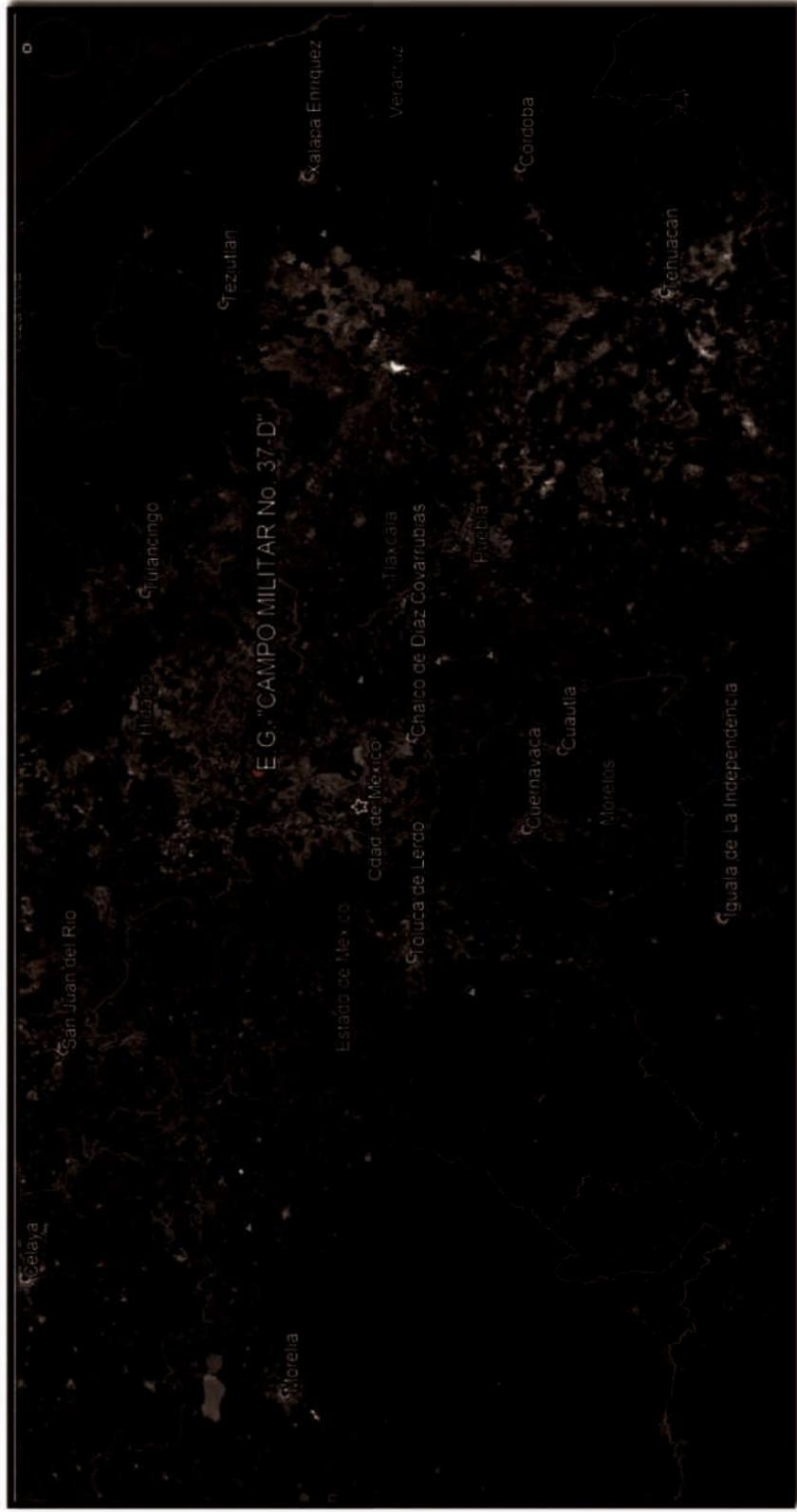




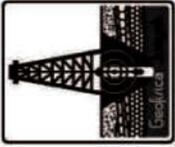
SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM



Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.
contacto@geofisicajuayek.com
<http://geofisicajuayek.com/>



SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM



Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.
contacto@geofisicajuayek.com
<http://geofisicajuayek.com/>



**ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE
TRANSITORIO ELECTROMAGNÉTICO (TEM)
PARA CONOCER LA GEOHIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA
DEL CAMPO MILITAR No. 37-D Y DETERMINAR LAS
ZONAS CON MEJORES CONDICIONES PARA LA
PERFORACIÓN DE POZOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA,
ASÍ COMO DE POZOS DE INFILTRACIÓN DE AGUA
PLUVIAL PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO,
MUNICIPIO DE ZUMPANGO, ESTADO DE MEXICO.**

PARA:

SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL

SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.

contacto@geofisicajuayek.com

<http://geofisicajuayek.com/>



INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6-
2. INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	7-
2.1 LOCALIZACIÓN.....	8-
2.2 FISIOGRAFÍA.....	9-
2.3 CLIMA.....	11
2.4 GEOMORFOLOGÍA.....	12-
2.5 GEOLOGÍA.....	13
2.5.1 Estratigrafía.....	13-
2.5.2 Geología Estructural	14-
2.5.3 Geología del Subsuelo.....	14-
2.5.4 Carta Geológica del Servicio Geológico Mexicano (SGM).....	16-
2.5.5 Sobreposición de la Carta Geológica en el área de estudio	17-
2.5.6 Descripción de la Geología de la zona	18-
2.6 HIDROGEOLOGÍA.....	19-
2.6.1 Tipo de Acuífero	19-
2.6.2 Profundidad del Nivel Estático.....	20-
2.6.3 Hidrografía.....	21-
3. MÉTODO EMPLEADO (TEM)	23-
3.1 ANTECEDENTES.....	23
3.2 PRINCIPIO FÍSICO DEL MÉTODO	25
3.3 PROCEDIMIENTO DE LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO	26-
3.3.1 Pruebas y calibraciones	26-
3.3.2 Equipo Utilizado	28-
3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS	29-
3.4.1 Procesado de la Información y Modelación	29-
4. TRABAJO DE CAMPO.....	31
4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS Y PERFILES REALIZADOS.....	31
4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS.....	31-
4.3 LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES GEOELÉCTRICOS	32
5. RESULTADOS.....	32
5.1 PERFIL GEOELÉCTRICOS OBTENIDOS.....	32-





5.2 CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA A DIFERENTES ELEVACIONES..... - 33 -

5.3 SOBREPOSICIÓN DE LOS CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO. - 33 -

5.4 INTEGRACIÓN EN UN MODELO 3D DE LOS PERFILES Y LOS CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA..- 34 -

5.5 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOELÉCTRICAS..... - 35 -

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES - 37 -





1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio geofísico tiene como objetivo caracterizar de manera general la geología que subyace en toda la zona que cubre a la Base Aérea Militar No. 1 de Santa Lucía y de igual manera identificar las áreas que cuentan con las mejores características geohidrológicas para la realización de uno o más pozos profundos para extracción de agua potable.

Para llevar a cabo esta investigación solicitó nuestros servicios el Capitán 1° I.C. Víctor Manuel Ramírez Negrete y fue él mismo quien se encargó de supervisar las evaluaciones geofísicas de campo y mostró los puntos de interés en el predio.

Para lograr los objetivos antes mencionados, se realizaron 44 Sondeos por Transitorio Electromagnético (TEMs), distribuidos estratégicamente a lo largo y ancho del predio, esto con la finalidad de analizar en lo mayor posible toda la superficie y de esta manera poder realizar una correlación entre cada sondeo para obtener un modelo geológico más confiable. Así mismo, con esta información se podrá identificar la distribución de capas, espesores y propiedades físicas que permitan inferir la permeabilidad de cada estrato y proponer las mejores zonas para llevar a cabo la perforación de uno o varios pozos de extracción e infiltración de agua.

La finalidad principal de la aplicación de este método es conocer la distribución de la resistividad aparente (o conductividad) de los diferentes materiales que constituyen el subsuelo a profundidades medias entre 600 y 800 metros. Una vez realizada la correcta interpretación de estos sondeos, a través de un software especializado, se puede valorar la litología probable, su espesor, permeabilidad, así como las posibilidades acuíferas en términos cualitativos.

Con los TEMs realizados, se construyen los perfiles geoelectricos "Campo Militar No. 37-D" en los cuales se vierten la información obtenida del lugar estudiado y es la síntesis del presente estudio geofísico.





2. INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

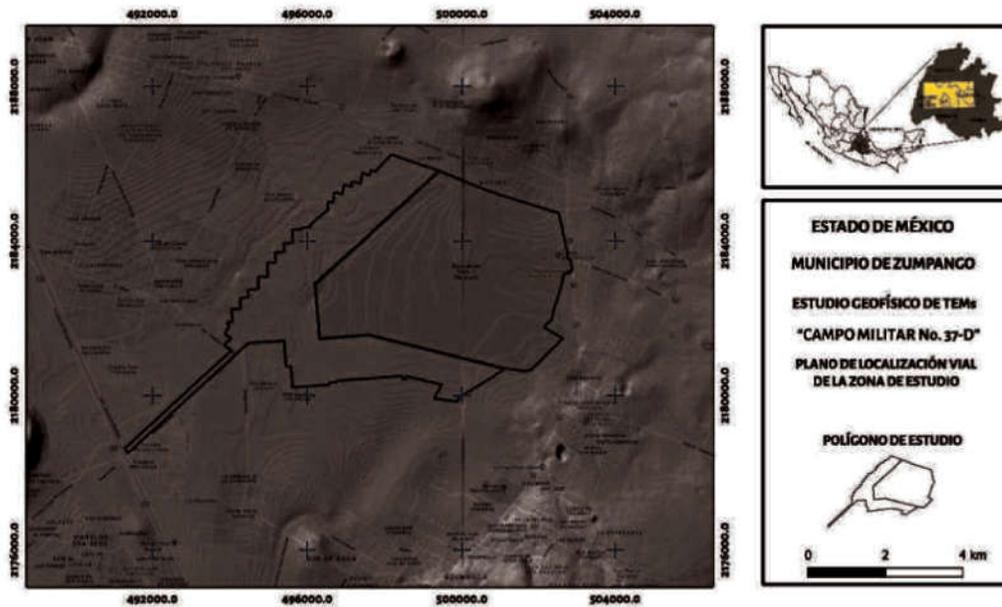


Figura 1 – Plano Vial de Localización de la Zona de estudio.

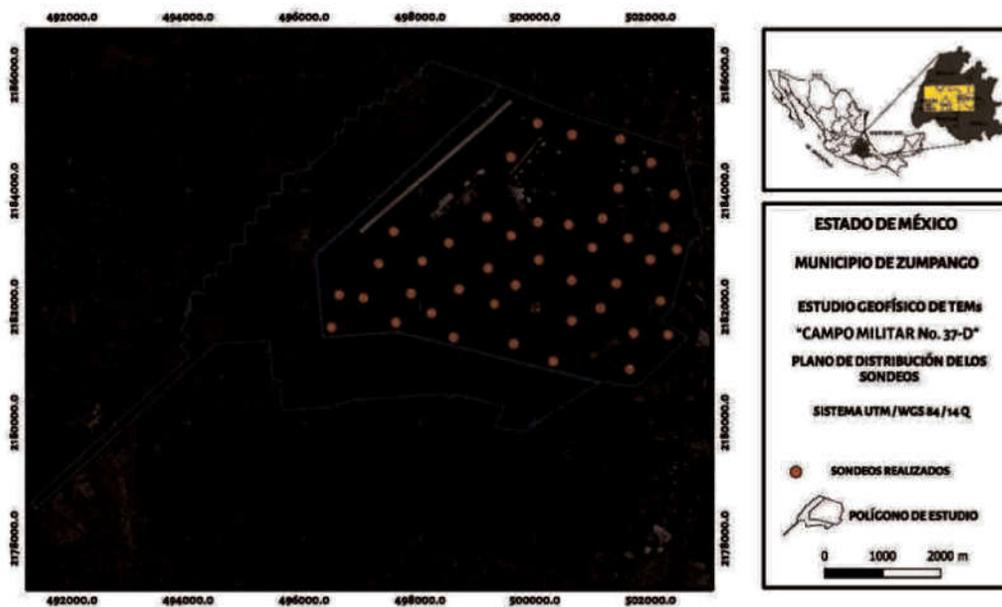


Figura 2 – Plano de Localización de la Zona de Estudio.





2.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza en la parte Sureste de la cabecera municipal de Zumpango de Ocampo, en los límites con los municipios de Nextlalpan y Tecámac, en el Estado de México.

De manera más específica, el Campo Militar No. 37-D, en donde se realizaron las pruebas geofísicas, se ubica sobre la carretera federal México – Pachuca, casi esquina con el Camino a San Jerónimo.

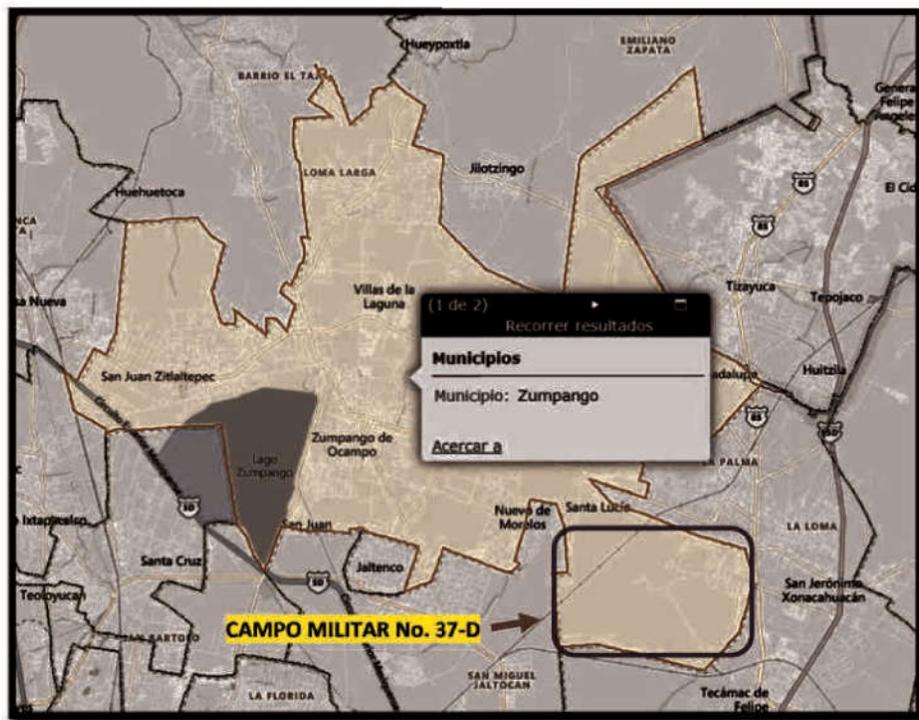


Figura 3 – Delimitación del municipio de Zumpango

Por otro lado, la zona de estudio se encuentra situada dentro del acuífero "Cuautitlán - Pachuca" definido con la clave 1508 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que se ubica al norte de la ciudad de México y en el límite sureste de Hidalgo, comprendiendo alrededor de un 10 % de la superficie del estado de México, abarcando una superficie de 2850 km².



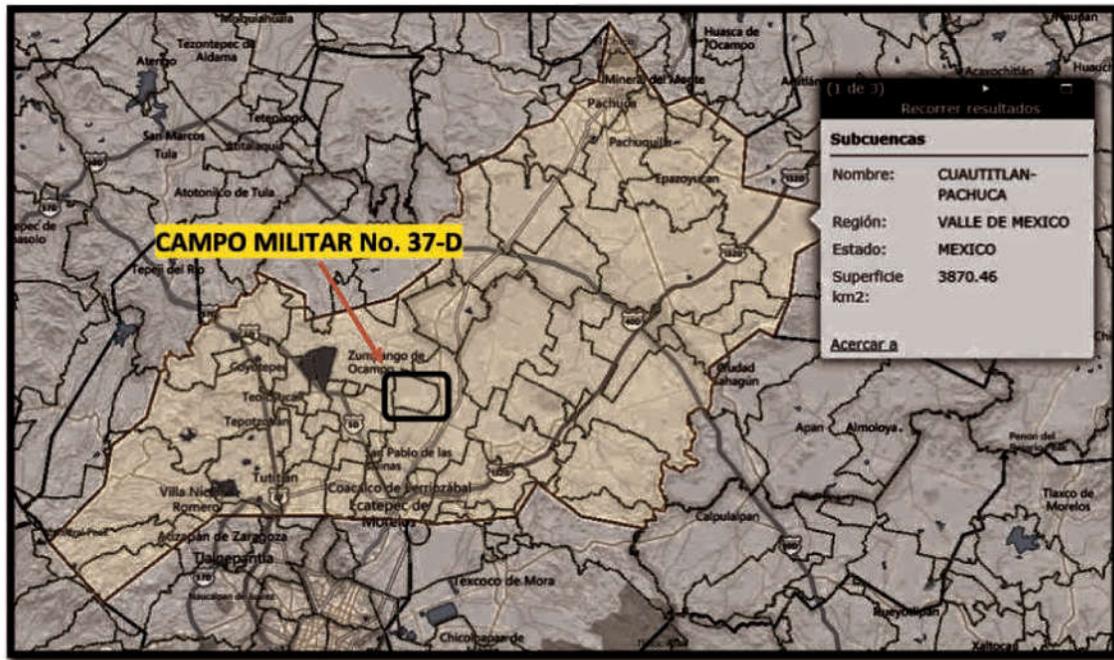


Figura 4 – Delimitación del Acuífero "Cuautitlán – Pachuca".

La zona está comprendida en 38 municipios, dentro de los cuales, en función del número de habitantes los de mayor importancia en el Estado de México son: Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Nicolás Romero, Coacalco, Tecámac, Zumpango, Tultepec y Cuautitlán; ahora bien, en el Estado de Hidalgo los municipios más importantes en función del número de habitantes, son: Pachuca, Tizayuca, Tezontepec de Aldama, Mineral de Reforma y Zempoala.

2.2 FISIOGRAFÍA

Por otro lado, tanto la zona de estudio como el acuífero al cual pertenece, de acuerdo a la clasificación fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1997), el área que cubre al acuífero se encuentra localizada en la Provincia Fisiográfica "Eje Neovolcánico", Subprovincia Fisiográfica "Lagos y Volcanes de Anáhuac", la cual se caracteriza por conformar una extensa altiplanicie rodeada por sierras volcánicas, con innumerables abanicos y llanuras aluviales.



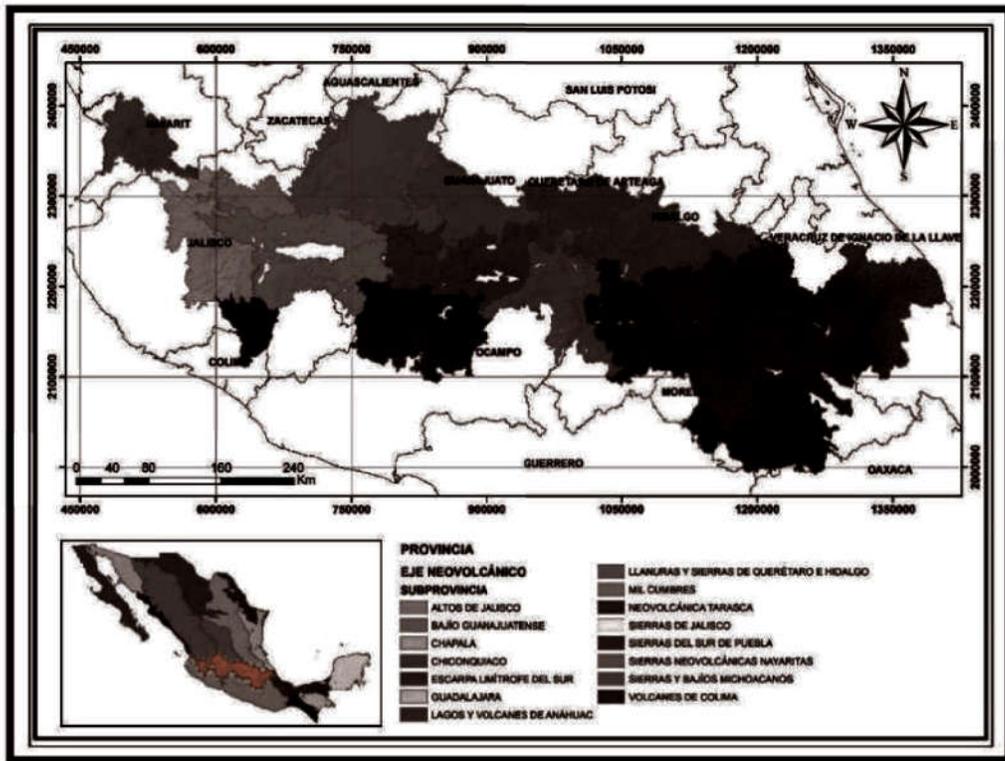


Figura 5 – Provincia Fisiográfica "Eje Neovolcánico".

El Eje Neovolcánico se caracteriza por una serie de cadenas montañosas de origen volcánico y por su complejidad en la composición de las rocas que varía de basáltica a riolítica, producto de eventos lávicos y piroclásticos; las geformas volcánicas presentan edades que varían desde mediados del Terciario al Reciente. Esta comprende parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Tlaxcala, Distrito Federal, Hidalgo, Puebla y Veracruz. La integran grandes sierras volcánicas, extensas coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

Presentan también la cadena de grandes estrato-volcanes denominada propiamente "Eje Neovolcánico" integrado por: Volcán de Colima, Tancítaro, Xinantecatl (Nevado de Toluca), Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Matlacueyatl (La Malinche) y Citlaltépetl (Pico de Orizaba), que





casi en línea recta atraviesan el país, más o menos sobre el paralelo 19°; que representan el trazo de la Gran Falla Clarión.

La Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac se caracteriza por estar conformada de montañas plegadas con orientación casi norte-sur, conformadas por secuencias marinas detríticas y calcáreas, separadas por valles aluviales y llanuras formadas a partir de antiguas cuencas lacustres, donde aparecen algunas elevaciones y sierras formadas por estratovolcanes aislados.

2.3 CLIMA

De acuerdo con la clasificación climatológica de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, en el acuífero se identifican cuatro tipos de climas, como a continuación se indica:

Semiseco Templado (BS1 kw (W)) que ocupa la mayor parte de la región; **Templado Subhúmedo (Cb (W2) (W))** este tipo de clima es el más húmedo, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor al 10 %; **Templado Subhúmedo (Cb (W1) (W))** es intermedio en cuanto a humedad, con lluvia en verano y porcentaje invernal menor al 8 %; y por último se tiene el clima **Semifrío Subhúmedo (Cb (W2) (w))** que es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano y con un porcentaje invernal menor a 8 %.

La temperatura media anual varía entre 12 y 18 °C; el periodo caluroso del año es de mayo a julio, siendo enero y febrero los meses más fríos, en los que se ha registrado temperaturas que fluctúan entre los 4 y 6 °C.

La precipitación promedio anual según el estudio de GRAVAMEX (1999), es de 578.55 mm; el periodo de lluvias es de julio a agosto, siendo julio el mes con mayor incidencia de lluvias, mientras que el periodo de diciembre a febrero es el más seco, de los cuales febrero es el mes más seco.



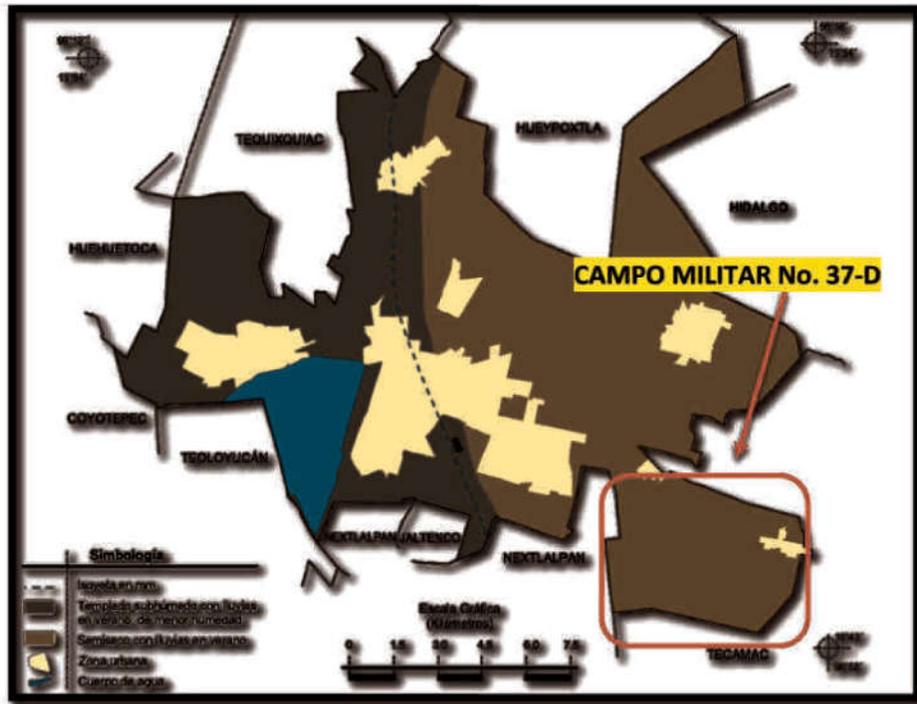


Figura 6 – Mapa de climas en el municipio de Zumpango

2.4 GEOMORFOLOGÍA

Dentro de las formas de relieve de origen endógeno, tenemos a las cadenas montañosas, como las Sierras de Tezontlalpan y Pachuca, las elevaciones aisladas, Cerro de los Pitos, y una gran cantidad de volcanes pequeños, mesetas y elevaciones de poca extensión asociadas a derrames de lava.

Hacia los flancos de los cerros, en la Sierra de Pachuca y Tezontlalpan, y en el flanco occidental del Cerro de los Pitos la infiltración se realiza a través de fallas. Además de las fallas, las fracturas se encuentran controlando gran parte de la red fluvial, observándose dos orientaciones preferenciales en el sistema de fracturas, que son NE-SW y NW-SE.

De las formas de origen exógeno, originadas del Pleistoceno al Reciente, se presentan: regueros y barrancos, valles erosivos y circos erosivo-denudatorios. Por otro lado, las formas exógenas acumulativas son los depósitos de pie de monte, planicies aluviales y llanuras de inundación.





Las primeras unidades son las más importantes geohidrológicamente, ya que representan el flujo superficial y podría representar elementos constitutivos del sistema de recarga de los acuíferos, mientras que las segundas constituyen las zonas de transición, almacenamiento o recolección primaria del agua subterránea.

De acuerdo con la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas (AHGZA, 1983) la red fluvial dispuesta en un sistema de corrientes de tipo radial, marcadas por un ramaleo dendrítico en las cabeceras, es propia de las regiones volcánicas.

AHGZA considera que el acuífero se encuentra en un estado de juventud geomorfológica.

2.5 GEOLOGÍA

El área de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Geológica de Eje Neovolcánico, la edad de las formaciones geológicas en esta porción de la Cuenca de México varía desde el Terciario Inferior (Eoceno) hasta el Reciente. Hacia la parte occidental, fuera del área de estudio, se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación el Doctor, del Cretácico Inferior.

Debido a la diversidad de materiales y a la distribución de estos en la cuenca, se han propiciado gran cantidad de estudios, asignándose un sin fin de nombres formacionales y nomenclaturas de difícil aceptación, siendo el trabajo de Vázquez y Jaimes (1989) el de mayor aceptación.

2.5.1 Estratigrafía

La base de la secuencia está representada por derrames de lava, brechas, tobas y conglomerados del Terciario Inferior, alcanzando espesores variables de 0 hasta 200 m, los conglomerados corresponden con el denominado Grupo El Morro; en el Terciario Medio, después de un periodo erosivo, se dan acumulaciones de lavas, brechas y tobas, de composición andesítica, con espesores variables que van de 0 hasta los 800 m, estos materiales corresponden con el Grupo Pachuca.





SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM

Al inicio del Terciario Superior, una nueva actividad volcánica arroja lavas andesíticas, tobas y brechas, con espesores de hasta 700 m, en la parte final del Terciario Superior un nuevo periodo volcánico arroja avalanchas ardientes compuestas de tobas, pómez y brechas, cuyos espesores alcanzan los 200 m, estos materiales se encuentran interdigitados con depósitos fluviales de la Formación Tarango.

Finalmente, la actividad volcánica más reciente se presenta en el Cuaternario, la cual corresponde con lavas basálticas, lavas andesíticas y cenizas, la cual es denominada Formación El Pino, y se encuentra formando los cerros La Estrella y El Pino; estos materiales se encuentran interestratificados con rellenos fluviales y aluviales, que en su conjunto se encuentran formando la capa superior de la Planicie y alcanzan espesores de hasta 200 m.

2.5.2 Geología Estructural

La zona de estudio se caracteriza por los numerosos aparatos volcánicos, con sus lavas y productos asociados que en edad varían del Terciario Medio al Cuaternario.

De acuerdo al trabajo de Vázquez-Jaimes de 1989, existen varios periodos de actividad volcánica de tipo intermedio que se registran para el Terciario y otro más joven en el Cuaternario, de carácter básico.

En cuanto a estructuras provocadas por fallas y fracturas solo se mencionan las fallas localizadas en los flancos de los cerros, en la Sierra de Pachuca y Tezontlalpan, y en el flanco occidental del Cerro de los Pitos, y las fracturas que se encuentran controlando gran parte de la red fluvial, observándose dos orientaciones preferenciales en el sistema de estas, que son NE-SW y NW-SE.

2.5.3 Geología del Subsuelo

En el estudio de 1991, se reportan en el subsuelo tres zonas con características hidrogeológicas diferentes:



Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.

contacto@geofisicajuayek.com

<http://geofisicajuayek.com/>



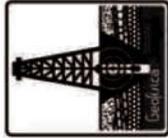


Zona I. Entre Tizayuca y Jesús María: en esta zona la estructura en el subsuelo tiene un arreglo sub-horizontal, y se encuentra constituido por capas de sedimentos volcanoclásticos y lacustres, asociados con intercalaciones de materiales lávicos, correspondiendo con la unidad Hidrogeológica Volcánica Superior. Como base de esta unidad tenemos a los 300 m, una capa impermeable de naturaleza arcillosa.

Zona II. A la altura de Vicente Guerrero: corresponde a una zona de transición entre los depósitos de la unidad de la zona I y la unidad rocosa más al noreste. En la parte inferior se encuentran cuerpos de gravas y arcillas consideradas como depósitos de talud, los cuales se encuentran subyaciendo a un derrame volcánico y suprayaciendo se encuentran materiales semejantes a la unidad anterior. Hacia las porciones más profundas de esta unidad se encuentran andesitas y dacitas.

Zona III. Entre Zapotlán de Juárez y San Pedro Huaquilpan: en el subsuelo se encuentra una estructura rocosa de origen ígneo extrusivo de composición andesítica, correspondientes a los materiales volcánicos del Mioceno.





SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM

2.5.4 Carta Geológica del Servicio Geológico Mexicano (SGM)

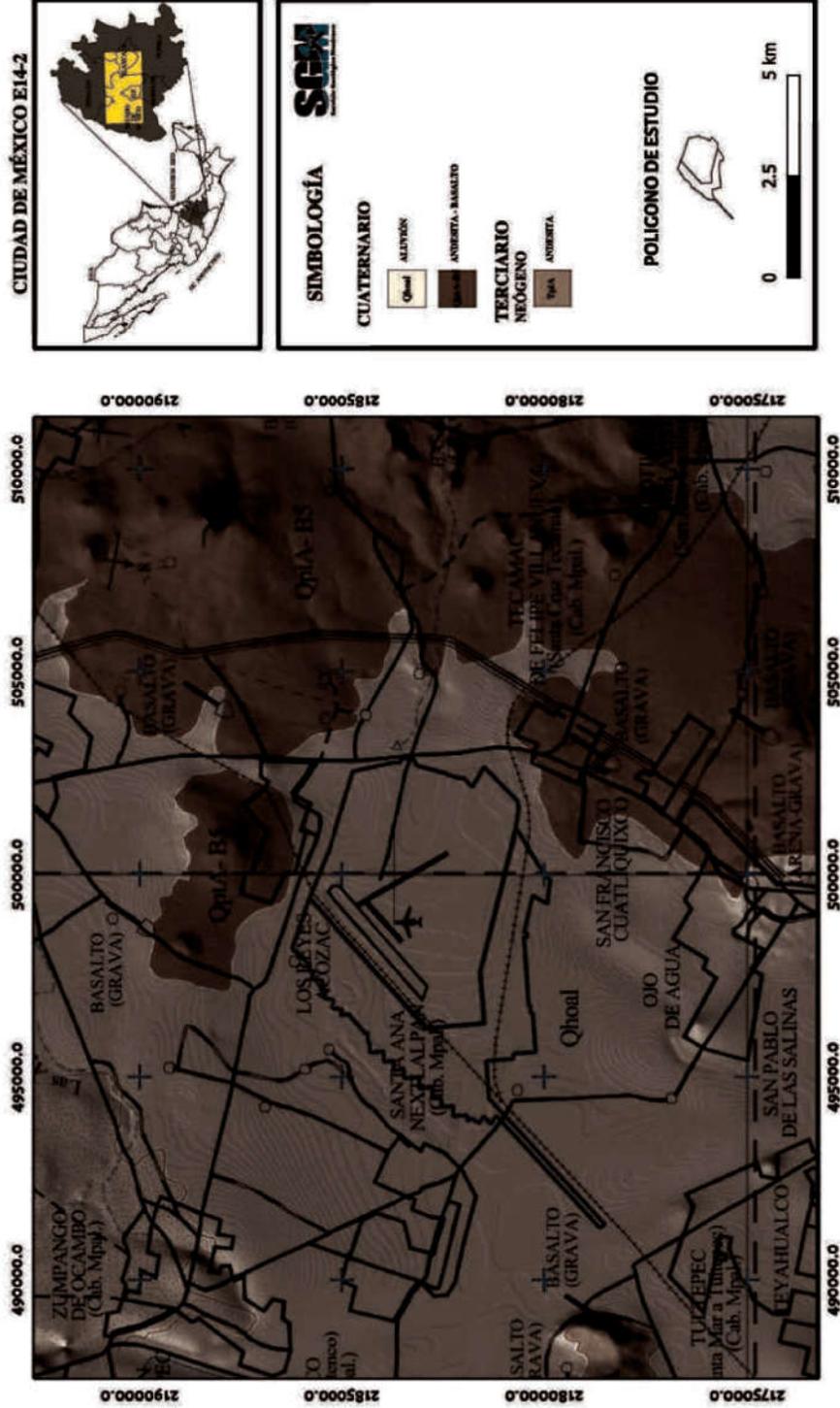
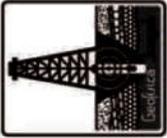


Figura 7 – Carta Geológica E14 – 2 (S.G.M.).

Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.
contacto@geofisicajuayek.com
<http://geofisicajuayek.com/>





SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM

2.5.5 Sobreposición de la Carta Geológica en el área de estudio

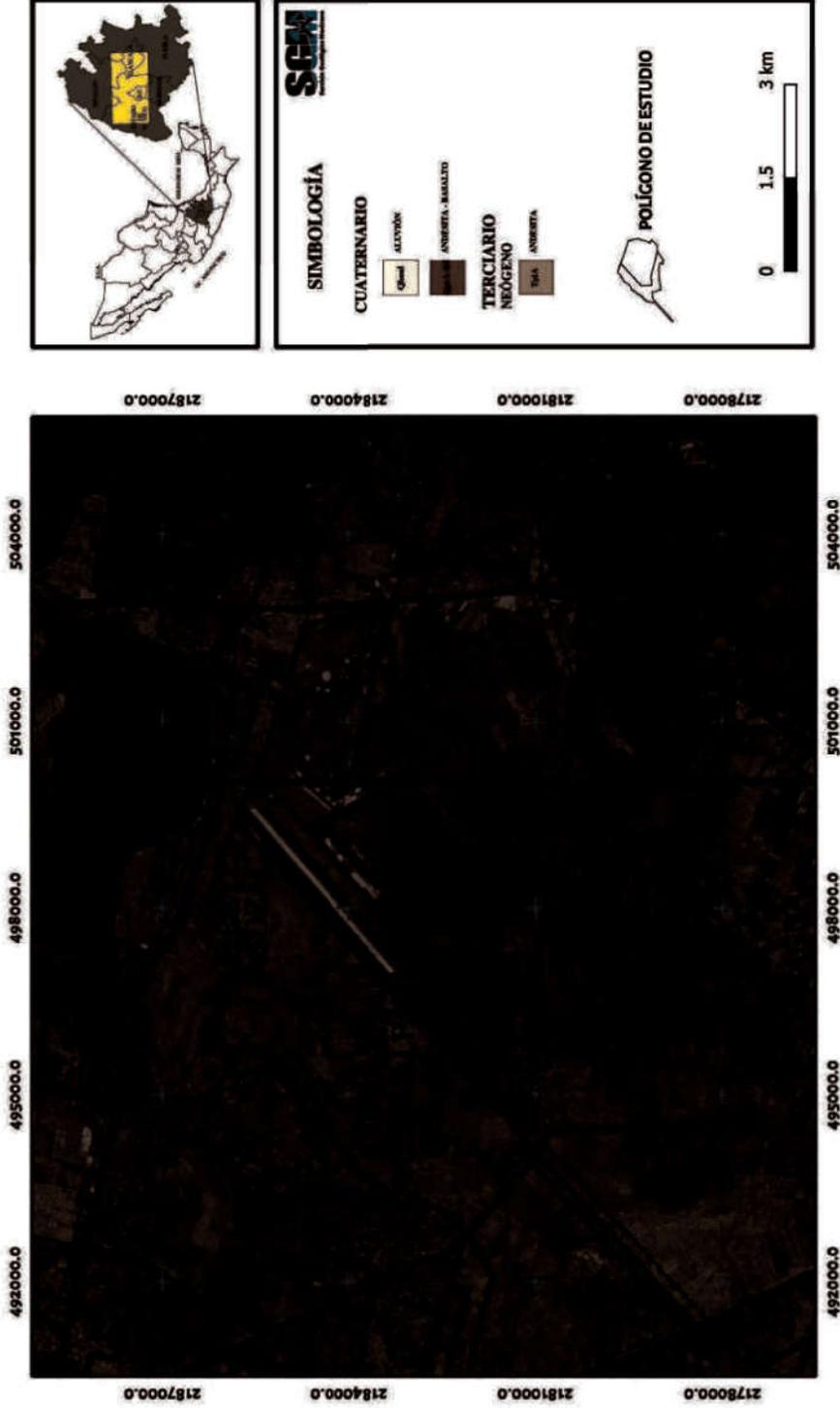
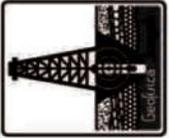


Figura 8 – Sobreposición de la Carta Geológica en las áreas de estudio.

Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.
contacto@geofisicajuayek.com
<http://geofisicajuayek.com/>





2.5.6 Descripción de la Geología de la zona

De acuerdo con el Prontuario de "Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos" el suelo del municipio de Zumpango, se compone principalmente por materiales del Cuaternario (45.47 %) y del Neógeno (31.44 %), constituidos por ígneas extrusivas: volcanoclásticas (26.92 %), basalto (4.44 %) y brechas (0.12 %) con suelos aluviales (33.05 %) y lacustres (12.3 %). Para este caso en particular, en las cercanías del sondeo TEM 8, se pudieron apreciar cortes estratigráficos de aproximadamente 2 a 3 metros de profundidad, los cuales constituyen en suelo superficial y de relleno, que se conforma por materiales aluviales arcillo-limosos y arcillo-arenosos, derivados de los procesos erosivos de las zonas con mayor elevación.

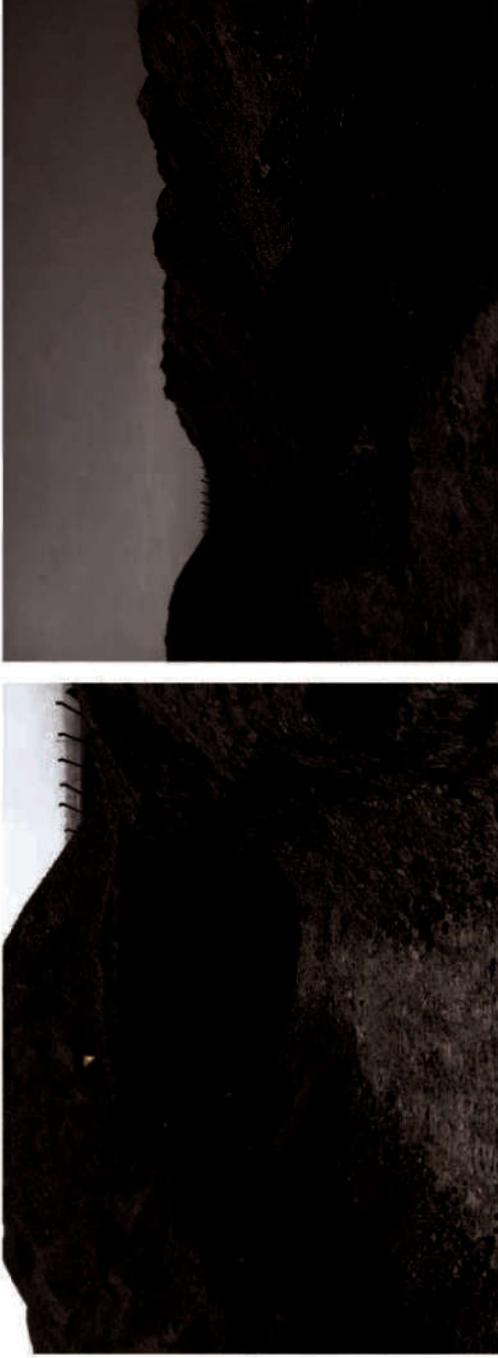


Figura 9 – Fotografías de geología característica de las zonas de estudio.





2.6 HIDROGEOLOGÍA

2.6.1 Tipo de Acuífero

La secuencia Oligo-Miocénica forma parte de la unidad hidrogeológica denominada Volcánicos Inferiores del Terciario, que está representada por materiales riolíticos, con algo de material dacítico y andesítico intercalado, hacia la cima se presenta un predominio de materiales andesíticos; esta unidad puede dividirse en dos unidades:

- La unidad basal está representada por los materiales riolíticos, donde el fracturamiento es moderado, al cual se le atribuye una permeabilidad baja.
- La unidad superior corresponde con los materiales andesíticos, con intenso fracturamiento, asociada con brechas volcánicas poco consolidadas y tobas arenosas, de grano grueso y bastante alteradas, por lo que se considera tienen una buena permeabilidad, constituyen el principal acuífero profundo.

Sobre la unidad anterior descansa una secuencia de materiales basálticos del Terciario, la cual es considerada dentro de la unidad geohidrológica denominada Volcánicos Superiores del Terciario.

Dentro de esta unidad se incluye a la secuencia de basaltos, brechas y tobas intercalada con materiales piroclásticos finos y sedimentos lacustres, que probablemente correspondan con la segunda actividad volcánica del Terciario; de acuerdo con la estructura que presentan se consideran altamente permeables.

Finalmente, sobre esta última secuencia tenemos arenas, arcillas y tobas poco permeables del Cuaternario-Reciente, además de derrames de lava intercalados por tobas, comúnmente drenadas, pero con buena permeabilidad; estos materiales constituyen la unidad hidrogeológica del Cuaternario. Localmente constituyen acuíferos subordinados de baja capacidad productora.





De acuerdo a los materiales que conforman el valle, se considera que el acuífero de Cuautitlán-Pachuca es de tipo semiconfinado.

2.6.2 Profundidad del Nivel Estático

Con la información piezométrica correspondiente, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, que se considera representativo de las condiciones actuales. El esquema piezométrico para este año muestra que a en algunas zonas del valle el nivel se recupera con respecto a los años anteriores, mientras que en otras zonas el nivel se ve afectado.

En la porción noreste del valle el nivel estático varía entre los 100 y 50 m, en la parte central varía entre los 100 y 120 m, mientras que en el extremo sur el nivel estático varía entre 65 y 120 m de profundidad. GRAVAMEX reporta una profundidad del nivel estático de 109.22 m para el año de 1999.

Por medio de la fuente "Cartocrítica", se puede consultar un mapa que muestra las Profundidades de Perforación de Pozos de Agua; este mapa está elaborado con datos del "Registro Público de Derechos de Agua" de CONAGUA, con el cual se puede conocer una profundidad media a la que se extrae agua del subsuelo por medio de pozos, y por ende una profundidad aproximada del manto freático.

No obstante, los datos arrojados no son precisos, debido a que no se considera la geología del subsuelo y su permeabilidad, o bien puede incluir datos de pozos muy someros o muy poca información.

Para el caso de la zona donde se realizaron las pruebas geofísicas de campo, el intervalo de profundidad de los pozos es de entre 100 y 250 metros, según la escala de colores del mapa.



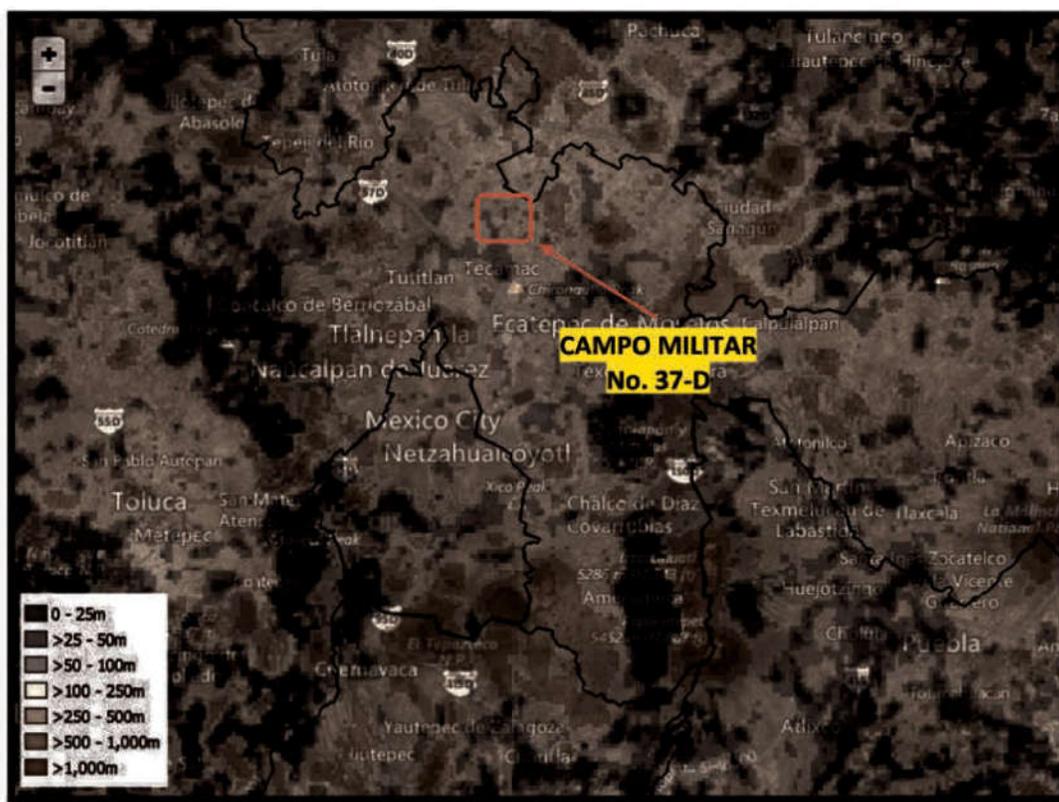


Figura 10 – Profundidad de pozos de agua (CartoCrítica).

2.6.3 Hidrografía

De acuerdo con la subdivisión hidrográfica realizada por la Gerencia Técnica de la GRAVAMEX, la Cuenca del Valle de México se encuentra dividida en once zonas hidrológicas que son: Xochimilco, Churubusco, Ciudad de México, Cuautitlán, Pachuca, Teotihuacán, Texcoco, Chalco, Apan, Tochac y Tecocomulco; mientras que la Cuenca del Río Tula está conformada por: El Salto, El Salado, Alfajayucan e Ixmiquilpan. En estas zonas se encuentran distribuidos los principales ríos de la región que son: Eslava, Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, San Joaquín, Río Hondo, Río de los Remedios, Tlalnepantla, San Javier, Tepozán, Cuautitlán, de la Avenidas de Pachuca, San Juan Teotihuacán, Papalotla, Amecameca y de la Compañía para el Valle de México; y para Tula el Río El Salto, El Salado, Alfajayucan, Actopan y el Río Tula.





El acuífero de Cuautitlán-Pachuca pertenece a la Región Hidrológica No. 26 "Alto Pánuco".

Se encuentra dentro de las subregiones IV, V y VI.

El área en estudio está localizada dentro de la Cuenca del Valle de México.

Dentro del área de estudio se encuentran las Subcuencas:

En Tizayuca-Pachuca la hidrología superficial es relativamente simple y de poca consideración, existiendo solo pequeños escurrimientos de carácter torrencial, presentando un drenaje de tipo radial y subdendrítico.

La corriente superficial más importante es el Río de la Avenidas de Pachuca, el cual se origina en la parte norte de la Ciudad capital y desemboca en la Laguna de Zumpango. Este río drena anualmente unos cuantos millones de metros cúbicos y tiene como afluentes al Río Papalote, Arroyo Azoyatla y la Arroyo La Palma.

Las cuatro corrientes superficiales referidas son de origen intermitente, las avenidas extraordinarias poseen corta duración, cabe señalar que el Río Papalote recibe las aguas de las antiguas cuencas cerradas de Apan y Tecocomulco.





3. MÉTODO EMPLEADO (TEM)

3.1 ANTECEDENTES

El método electromagnético por transitorios o electromagnético en el dominio del tiempo, se conoce por sus siglas en inglés como TEM (Transient Electromagnetic Method).

En la aplicación de este método, el objetivo principal es conocer la distribución de la resistividad eléctrica (o conductividad) de los diferentes materiales que constituyen el subsuelo a profundidades medias entre 600 y 800 metros dependiendo del tamaño de la bobina transmisora. Por tal motivo, se pretende que el estudio en cuestión alcance profundidades de investigación hasta de 700 metros de profundidad con el fin de determinar la respuesta eléctrica del subsuelo en las diferentes zonas de interés.

En términos generales la interpretación consiste en asociar los valores de resistividad y espesores calculados a estratos o Formaciones Geológicas propias del área, de tal manera que los menores a 15 Ohm-m de resistividad corresponden a materiales arcillosos, los comprendidos en el intervalo de 15 a 25 Ohm-m a materiales limosos, de 25 a 40 Ohm-m a materiales areno-limosos, de 40 a 90 Ohm-m a materiales arenosos, de 90 a 200 Ohm-m a materiales gravosos y mayores a 300 Ohm-m a presencia de roca, dentro de estos últimos los de valores medios se pudieran asociar a rocas fracturadas y los de muy alta resistividad pudieran estar asociados a materiales poco fracturados y cerrados.

En el campo de la Ingeniería Geofísica, la Técnica del Transitorio Electromagnético en el Dominio del Tiempo (TEM), es una de las técnicas geofísicas más modernas para la exploración del subsuelo, tanto en equipos de medición como en el soporte técnico-científico para la interpretación de los datos medidos.

Para el planteamiento de un modelo geológico de una zona, en la cual las condiciones locales son particularmente extremas para la aplicación de métodos de corriente continua como el SEV, por la dificultad que presentan las líneas de corriente para cruzar estratos conductores (materiales mineralizados o arcillosos), o bien los problemas de una alta resistencia de contacto por las arenas secas, hacen de esta técnica que la operación logística e





instrumental sea compleja, ya que se ha observado en ciertos casos lecturas de voltaje que están fuera del alcance de medición de los equipos, por esta razón la Técnica del Transitorio Electromagnético (TEM), resulta ser una de las técnicas más viables para caracterizar el subsuelo, en la cual se utiliza un fenómeno de inducción electromagnética y que a la vez no utiliza un contacto galvánico como el SEV.

Con el método electromagnético (TEM) se pretende mostrar una distribución del subsuelo en términos de homogeneidad basados en la caracterización resistiva. Debido a la gran resolución vertical que se obtiene con esta técnica, es posible obtener una imagen lo más real posible de las condiciones del subsuelo. En las secciones del subsuelo es posible observar las heterogeneidades (zonas anómalas) debidas a estructuras geológicas, cambios de facies y fracturamiento de la roca, lo cual provoca cambios importantes en la resistividad que es el parámetro experimental de campo que se mide.

Los métodos electromagnéticos (EM) se introdujeron hace más de 50 años, en la exploración de sulfuros masivos (cuerpos muy conductores). Las medidas eran originalmente hechas en el dominio de frecuencia, a una sola frecuencia en CA (Corriente alterna) dónde las amplitudes de los campos primarios y secundarios eran medidas simultáneamente. Esta opción se reemplazó rápidamente por el uso de un pulso cuadrado conmutado (una señal repetida de DC), permitiendo el examen de los campos inducidos en el intervalo entre los pulsos, es decir en la ausencia del campo primario. En el caso de sistemas de medición con el campo primario apagado, como el empleado aquí, lo que es de interés es el decaimiento de la señal con respecto al tiempo cuando la señal del transmisor está apagada.





3.2 PRINCIPIO FÍSICO DEL MÉTODO

Un transmisor envía un pulso de corriente cuadrado repetido en una bobina de alambre. A la terminación de cada pulso, un campo magnético al mismo tiempo se genera de acuerdo con las ecuaciones de Maxwell. A su vez, este campo primario induce corrientes transitorias inmediatamente en la tierra por debajo de la bobina del transmisor las cuales se difunden hacia abajo a una velocidad proporcional a la resistividad de la tierra (Nabighian, 1979). Un receptor en la superficie puede medir las variaciones del campo magnético secundario asociado con esta corriente. La fuerza del campo disminuye (rápidamente) con el tiempo, y el análisis de estos cambios da la distribución de resistividad con la profundidad en la tierra.

En la mayoría de los casos, incluyendo en este estudio, lo que es medido es la razón temporal de cambio del campo magnético secundario (el dH/dt) en la dirección vertical, Esto se logra midiendo los voltajes inducidos en una bobina receptora colocada al centro de la bobina transmisora (configuración de bobina (loop) central), o en la misma bobina (configuración de bobina (loop) coincidente). En el caso anterior, aunque la bobina del receptor tiene un diámetro pequeño (aprox. 1.2 m), su área efectiva (el momento del receptor) se aumenta con el número de vueltas en la bobina, aumentando de esta manera la sensibilidad. El receptor graba los voltajes en forma discreta en varios canales, produciendo una curva de decaimiento de voltaje contra el tiempo.

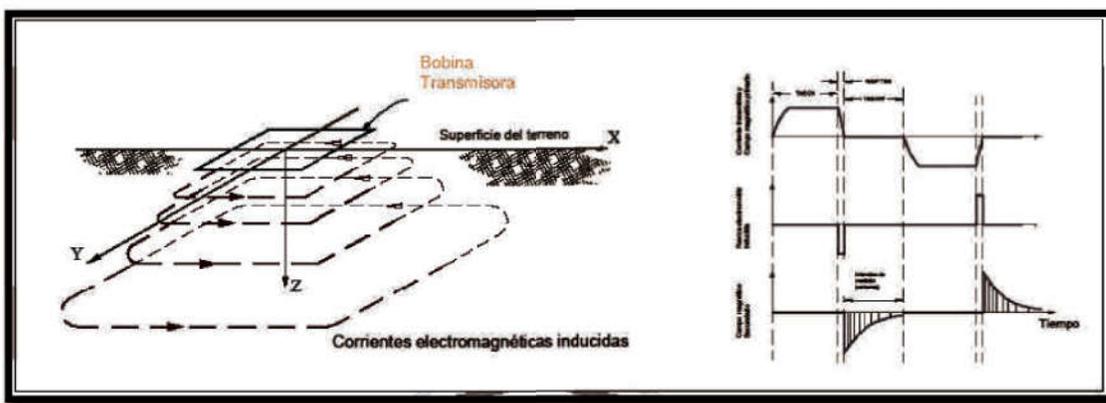


Figura 11 – Fenómeno de Inducción Electromagnética.





3.3 PROCEDIMIENTO DE LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO

3.3.1 Pruebas y calibraciones

Las pruebas se realizaron para loops cuadrados (o de acuerdo a las condiciones del terreno) con bobinas de dimensiones de 300 x 300 metros, el número de ventanas fue de 45 y la ganancia empleada fue automática con apilamientos de 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024 y 2048.

Las acciones llevadas a cabo fueron:

- Pruebas del funcionamiento del equipo.
- Pruebas de la resistividad del circuito de transmisión y recepción.
- Análisis intensidad de corriente circulante de emisión.
- Análisis de ruido y respuesta del equipo con diferentes ganancias.
- Análisis de la penetración de la señal en el subsuelo (profundidad de investigación).
- Análisis de la repetitividad de la respuesta promediada por el equipo.
- Determinación de los parámetros de registro a utilizar.

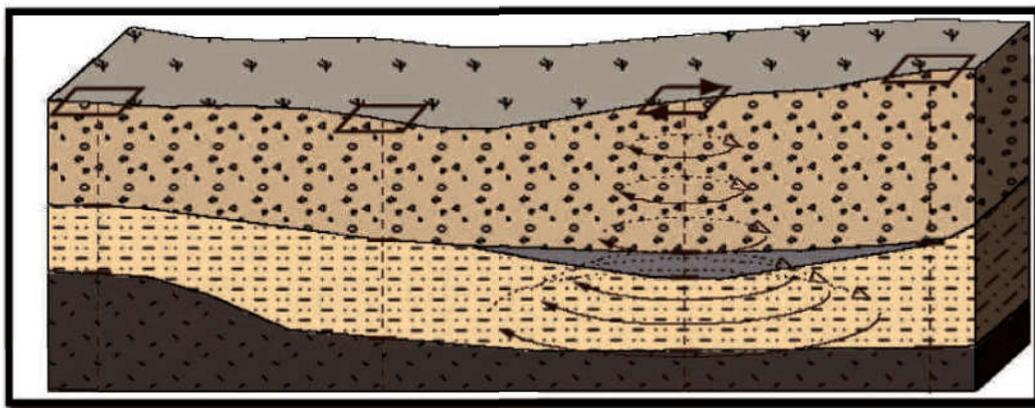


Figura 12 – Arreglo Loop Coincidente.

Estas pruebas produjeron como resultado que el arreglo denominado "Single Loop" con un cable calibre 10 garantizando una resistencia de menos de 3 Ohms en todo el tendido y una intensidad de corriente que variaba entre 5 y 10 Amperes, suficiente para alcanzar los 700 metros de exploración a profundidad requeridos.





El tiempo de medición fue de 45 ventanas de tiempo, con la serie de tiempo denominada "High Resolution" del equipo "TerraTem", Delay no mayor a 35 μ s y orientación del Loop de acuerdo con las condiciones topográficas del lugar. Las ganancias empleadas y el número de apilamientos requeridos para cada curva se realizaron de acuerdo con la siguiente tabla.

GANANCIA	APILAMIENTOS
AUTOMÁTICA	8
AUTOMÁTICA	16
AUTOMÁTICA	32
AUTOMÁTICA	64
AUTOMÁTICA	128
AUTOMÁTICA	256
AUTOMÁTICA	512
AUTOMÁTICA	1024
AUTOMÁTICA	2048

Tabla 1 – Parámetros utilizados en campo.

Las mediciones se realizaron con las ganancias y apilamientos antes descritos y se efectuaron, por lo menos, dos lecturas para cada ganancia, si las condiciones de los sitios lo ameritaban, con objeto de incrementar la calidad de la estadística.

Una ventaja de este equipo es observar las curvas de decaimiento inmediatamente después de tomada la lectura, si se observa ruido o errores por programación se puede repetir la lectura sin problemas, esta información se guarda en la memoria del equipo en forma digital, para procesarla posteriormente.

Algunos aspectos en la recolección de los datos de campo se muestran en el anexo de gráficas.





3.3.2 Equipo Utilizado

El equipo utilizado fue el TerraTEM de la marca Monex GeoScope, de fabricación australiana, acelerador de señal, batería Aerolyte con voltaje de 12.8 Volts y software integrado, versión 5.5.

Como accesorios de campo se contó con:

- 4 carretes con 300 metros de cable (#10) cada uno
- 4 radios portátiles marca Motorola
- 1 GPS marca Garmin
- 1 brújula tipo Brunton



Figura 13 – Equipo: TerraTEM Monex GeoScope.





3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

La información obtenida en campo se bajó a una computadora para el procesado de datos e interpretación. El procesado se efectuó inicialmente con programas de TerraTEM, los cuales consistieron básicamente en evaluación de los registros en campo y preparación de archivos para el modelado con software de Interpex conocido como TEMIXS y de Geosystem conocido como Winglink.

En TEMIXS se les dio limpieza a los archivos y se les preparó para efectuar el modelado en una dimensión con un máximo de 8 capas, los cuales indican los espesores y resistividades presentes en el subsuelo de cada sitio de medición.

Estos modelos, posteriormente se detallaron con ayuda del paquete Winglink en un modelo estratificado de 12 capas, determinado mediante el proceso de inversión OCCAM, los cuales a pesar de ser unidimensionales han redituado en resultados bastante satisfactorios al armar secciones geoelectricas o configuraciones en planta. Los TEM procesados tanto por TEMIXS, como por OCCAM se muestran en el Anexo de gráficas.

3.4.1 Procesado de la Información y Modelación

El procesado del registro se efectuó siguiendo los siguientes pasos:

- ✓ Transferencia de los registros del equipo TerraTEM a la computadora.
- ✓ Obtener una curva final de decaimiento.
- ✓ Conversión de la curva de decaimiento a Resistividad Aparente contra tiempo.
- ✓ Cálculo del modelo inicial estratificado con un máximo de 8 capas.
- ✓ Cálculo del modelo a detalle estratificado (inversión Occam), con un total de 12 capas o estratos importantes.
- ✓ Impresión gráfica del modelo unidimensional.
- ✓ Transferencia de las curvas y los modelos generados al paquete WINGLINK.
- ✓ En WINGLINK, formación de la base de datos.
- ✓ Elaboración del perfil de resistividad real e impresión de resultados gráficos.





✓ Generación de cortes en planta a diferentes alturas sobre el nivel del mar, que posteriormente se sobre posicionan en la imagen satelital del predio en cuestión.

El modelado por capas o unidimensional se hizo siguiendo el método clásico de prueba y error, en el que se propone un cierto número de capas, dependiendo de las inflexiones de la curva de campo, las pendientes de la curva y los tiempos a los que ocurren las inflexiones. Se aprovechó la facilidad del paquete TEMIXS que permite la interacción con la computadora en un proceso conocido como interpretación interactiva.

Este proceso posibilita que el intérprete modifique los parámetros del modelo y presenta el cálculo de las curvas teóricas de las modificaciones realizadas, esta característica hace que el ajuste del modelo sea rápido.

Una vez que se ha obtenido un ajuste aceptable, el modelo generado se somete a una regresión automática con las técnicas de Ridge y de Marquardt con algoritmos de aproximación de tipo Anderson para obtener, por inversión, el mejor ajuste bajo el criterio del error cuadrático medio mínimo.

Los resultados y procesos arrojados por TEMIXS, así como las coordenadas y elevaciones de los centros de los loops, sirvieron para alimentar el programa de interpretación conocido como WINGLINK, con el cual se realizó el procesado definitivo e integración con el modelo geológico, a través de la reinterpretación y reconstrucción de los perfiles o cortes electrostratigráficos.





4. TRABAJO DE CAMPO

4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS Y PERFILES REALIZADOS

Los perfiles geoelectrónicos de resistividad son el resumen del presente estudio, el cual nos permite observar y describir los paquetes litológicos encontrados a profundidad bajo el punto de investigación.

4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS



Figura 14 – Localización y distribución de los TEM en el Campo Militar No. 37-D

Las coordenadas de localización de todos los sondeos realizados en campo, pueden consultarse en el anexo 1 "Planos de referencia", tabla 1.1.





4.3 LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES GEOELÉCTRICOS

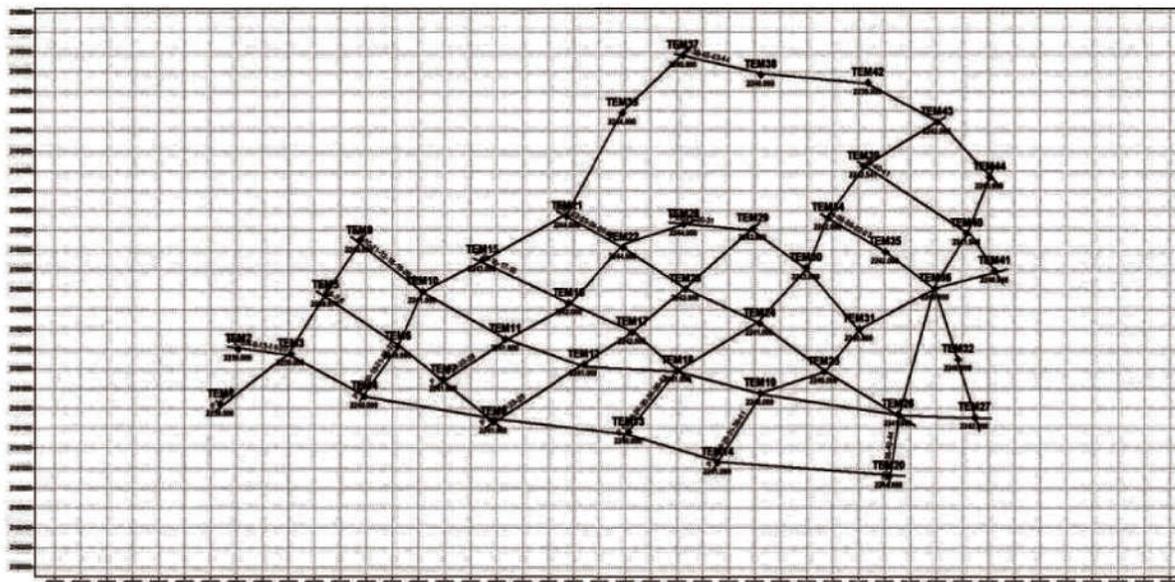


Figura 15 – Localización del perfil geoelectrico.

5. RESULTADOS

5.1 PERFILES GEOELÉCTRICOS OBTENIDOS

Se obtuvieron 16 perfiles geoelectricos de manera general en el predio con los cuales se infiere la composición geológica a lo largo y ancho del campo militar. Estos perfiles se pueden consultar en el anexo 2 – "Perfiles Geoelectricos" y aparece en el siguiente orden:

- *Figura 2.2 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 2-3-4-8-13-14-20.*
- *Figura 2.3 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 5-6-7-8.*
- *Figura 2.4 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 9-10-11-12-18-19-26-27.*
- *Figura 2.5 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 15-16-17-18.*
- *Figura 2.6 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 21-22-23-24-25-26.*
- *Figura 2.7 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 28-29-30-31.*
- *Figura 2.8 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 34-35-36-32-27.*
- *Figura 2.9 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 39-40-41.*





- *Figura 2.10 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 37-38-42-43-44.*
- *Figura 2.11 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 1-3-5-9.*
- *Figura 2.12 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 4-6-10-15-21-33-37.*
- *Figura 2.13 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 7-11-16-22-28.*
- *Figura 2.14 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 8-12-17-23-29.*
- *Figura 2.15 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 13-18-24-30-34-39-43.*
- *Figura 2.16 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 14-19-25-31-36-41.*
- *Figura 2.17 - Perfil geoelectrico – Sección TEMs 20-26-36-40-44.*

5.2 CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA A DIFERENTES ELEVACIONES

Se obtuvieron cortes de resistividad en planta a diferentes elevaciones para poder apreciar de mejor manera la distribución de resistividades a lo largo y ancho del predio; se encuentran disponibles para su consulta en el anexo 3 – “Cortes de Resistividad en Planta a Diferentes Elevaciones”, enlistados en el siguiente orden:

- *Figura 3.1 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 2200 m.s.n.m.*
- *Figura 3.2 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 2150 m.s.n.m.*
- *Figura 3.3 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 2100 m.s.n.m.*
- *Figura 3.4 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 2050 m.s.n.m.*
- *Figura 3.5 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 2000 m.s.n.m.*
- *Figura 3.6 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 1900 m.s.n.m.*
- *Figura 3.7 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 1800 m.s.n.m.*
- *Figura 3.8 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 1700 m.s.n.m.*
- *Figura 3.9 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 1600 m.s.n.m.*
- *Figura 3.10 – Corte de resistividad en planta a una elevación de 1500 m.s.n.m.*

5.3 SOBREPOSICIÓN DE LOS CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO

Así mismo, los cortes de resistividad fueron sobrepuestos en el área de estudio sobre imagen satelital para poder ver la distribución de resistividades a lo largo y ancho del predio de una





manera más real; estas imágenes se encuentran disponibles para consulta en el anexo 4 – "Sobreposición de los Cortes de Resistividad en Planta a Diferentes Elevaciones", enlistados en el siguiente orden:

- *Figura 4.1 – Sobre posición de Corte a una elevación de 2200 m.s.n.m.*
- *Figura 4.2 – Sobre posición de Corte a una elevación de 2150 m.s.n.m.*
- *Figura 4.3 – Sobre posición de Corte a una elevación de 2100 m.s.n.m.*
- *Figura 4.4 – Sobre posición de Corte a una elevación de 2050 m.s.n.m.*
- *Figura 4.5 – Sobre posición de Corte a una elevación de 2000 m.s.n.m.*
- *Figura 4.6 – Sobre posición de Corte a una elevación de 1900 m.s.n.m.*
- *Figura 4.7 – Sobre posición de Corte a una elevación de 1800 m.s.n.m.*
- *Figura 4.8 – Sobre posición de Corte a una elevación de 1700 m.s.n.m.*
- *Figura 4.9 – Sobre posición de Corte a una elevación de 1600 m.s.n.m.*
- *Figura 4.10 – Sobre posición de Corte a una elevación de 1500 m.s.n.m.*

5.4 INTEGRACIÓN EN UN MODELO 3D DE LOS PERFILES Y LOS CORTES DE RESISTIVIDAD EN PLANTA

Para tener un modelo con menor incertidumbre y poder correlacionar los resultados obtenidos, se realizó un modelo que integra los perfiles y los cortes de resistividad, visibles sobre la imagen satelital del predio, y de esta manera poder apreciar de mejor manera la distribución de las resistividades a lo largo y ancho del predio. Estas imágenes se visualizan en el anexo 5 "Integración en un modelo 3D de los perfiles y los cortes de resistividad", en el siguiente orden:

- *Figura 5.1 – Vista general del modelo*
- *Figura 5.2 – Perfiles SO-NE con corte a 2200 m.s.n.m.*
- *Figura 5.3 – Perfiles SO-NE con corte a 2150 m.s.n.m.*
- *Figura 5.4 – Perfiles SO-NE con corte a 2100 m.s.n.m.*
- *Figura 5.5 – Perfiles SO-NE con corte a 2000 m.s.n.m.*
- *Figura 5.6 – Perfiles SO-NE con corte a 1900 m.s.n.m.*
- *Figura 5.7 – Perfiles SO-NE con corte a 1800 m.s.n.m.*





- *Figura 5.8 – Perfiles SO-NE con corte a 1700 m.s.n.m.*
- *Figura 5.9 – Perfiles SO-NE con corte a 1600 m.s.n.m.*
- *Figura 5.10 – Perfiles SO-NE con corte a 1500 m.s.n.m.*
- *Figura 5.11 – Perfiles O-E con corte a 2200 m.s.n.m.*
- *Figura 5.12 – Perfiles O-E con corte a 2150 m.s.n.m.*
- *Figura 5.13 – Perfiles O-E con corte a 2100 m.s.n.m.*
- *Figura 5.14 – Perfiles O-E con corte a 2000 m.s.n.m.*
- *Figura 5.15 – Perfiles O-E con corte a 1900 m.s.n.m.*
- *Figura 5.16 – Perfiles O-E con corte a 1800 m.s.n.m.*
- *Figura 5.17 – Perfiles O-E con corte a 1700 m.s.n.m.*
- *Figura 5.18 – Perfiles O-E con corte a 1600 m.s.n.m.*
- *Figura 5.19 – Perfiles O-E con corte a 1500 m.s.n.m.*

5.5 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE UNIDADES GEOELÉCTRICAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio geofísico, se pudieron diferenciar en los perfiles geoelectricos "CAMPO MILITAR No. 37-D", cuatro unidades geoelectricas que están definidas por los parámetros de espesor de capa, valor de resistividad, litología probable, permeabilidad y posibilidades acuíferas que a continuación se describen:

UNIDAD GEOELÉCTRICA U1	
Descripción:	Capa superficial visible en colores que van de amarillo a rojo, se extiende casi en la totalidad del terreno estudiado con un espesor que varía de 50 a 100 metros.
Valor de resistividad:	Son los más altos presentes en la exploración y varían en un rango que va desde los 500 a más de 1000 Ω m.
Litología probable:	Colada de roca ígnea extrusiva de composición basáltica en diferentes grados de fracturamiento.
Permeabilidad:	Media a Baja de tipo II.
Posibilidades acuíferas:	Pobres (Variación del Nivel Estático)

Tabla 2 – Descripción de unidad geoelectrica U1





UNIDAD GEOELÉCTRICA U2	
Descripción:	Generalmente subyace a la capa anterior, en algunos puntos aparece desde superficie. Esta capa visible en color verde, se distribuye casi de manera homogénea y en algunos lugares se intercala con la U3. Posee espesores de entre 100 hasta 300 metros.
Valor de resistividad:	Varían desde los 60 hasta los 400 Ω m.
Litología probable:	Intercalación de brechas, tobas y conglomerados con presencia de arcillas.
Permeabilidad:	Media a Buena.
Posibilidades acuíferas:	Regulares a Buenas.

Tabla 3 – Descripción de unidad geoeléctrica U2

UNIDAD GEOELÉCTRICA U3	
Descripción:	Esta unidad, visible en color azul, cubre casi la totalidad del terreno estudiado, aparece a partir de los 300 metros de profundidad y se extiende para muchos sondeos a más de 700 metros de espesor.
Valor de resistividad:	Posee los más bajos de la exploración y varían en un rango de 5 a 60 Ω m.
Litología probable:	Material granular fino como gravas, arenas y arcilla, posiblemente de origen lacustre.
Permeabilidad:	Media a Baja.
Posibilidades acuíferas:	Pobres.

Tabla 4 – Descripción de unidad geoeléctrica U3

UNIDAD GEOELÉCTRICA U4	
Descripción:	Aparece nuevamente en color verde en la parte profunda de algunos perfiles, cuyos sondeos se localizan en la parte Oriente del predio. Su espesor va desde apenas 50 hasta 200 metros, aproximadamente.
Valor de resistividad:	Oscilan entre los 60 y 150 Ω m.
Litología probable:	Intercalación de piroclásticos con brechas y conglomerados, limpios.
Permeabilidad:	Media a Buena.
Posibilidades acuíferas:	Desconocidas (Posible acuífero profundo).

Tabla 5 – Descripción de unidad geoeléctrica U4




6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la geofísica realizada en el estudio "Campo Militar No. 37-D", que se ubica dentro del municipio de Zumpango de Ocampo, Estado de México, se puede concluir lo siguiente:

- Se obtuvo un modelo geológico que constituye el subsuelo de toda la zona de estudio hasta los 800 metros de profundidad explorados, que se distribuye y compone de las siguientes capas:
 - U1. Capa superficial compuesta por roca basáltica fracturada que se extiende en toda la zona con espesores de hasta 100 metros. Posee permeabilidad media a baja de tipo II con posibilidades acuíferas pobres (variación del nivel estático).
 - U2. Subyace a la capa anterior y en algunos lugares aparece en superficie. Se compone de materiales granulares volcánicos con buena permeabilidad siendo esta capa la que posee las mejores características geohidrológicas y constituye el acuífero que abastece a toda la zona.
 - U3. Capa profunda que aparece después de los 300 metros de profundidad, constituida principalmente por material arcilloso y granulares finos, funcionando como una barrera geológica natural.
 - U4. Aparece solo en la parte oriente del predio después de los 500 metros de profundidad, asociándose a materiales granulares de origen volcánico.
- Con el modelo Integratorio en 3D se puede apreciar en primera estancia la colada de roca volcánica proveniente de la zona Noreste y que se extiende en toda la zona de estudio. Posteriormente se observan las zonas con los mejores espesores de unidad U2, la cual es la unidad con mejores características geohidrológicas.
- Se realizó una correlación de los registros geofísicos del ramal los reyes con un perfil geoelectrico obtenido en el presente estudio, demostrando que la distribución de





capas y los espesores concuerdan de manera general y que se distribuyen como se describe en las figuras 6.1 y 6.2 del anexo 6.

- RECOMENDACIONES (POZO DE EXTRACCIÓN)

- Así mismo, con ayuda de las imágenes del anexo 4, se han identificado dos zonas específicas en las cuales se propondrá la realización de uno o más pozos, según se requiera. La parte norte – noreste y suroeste, como se muestra en la siguiente imagen.

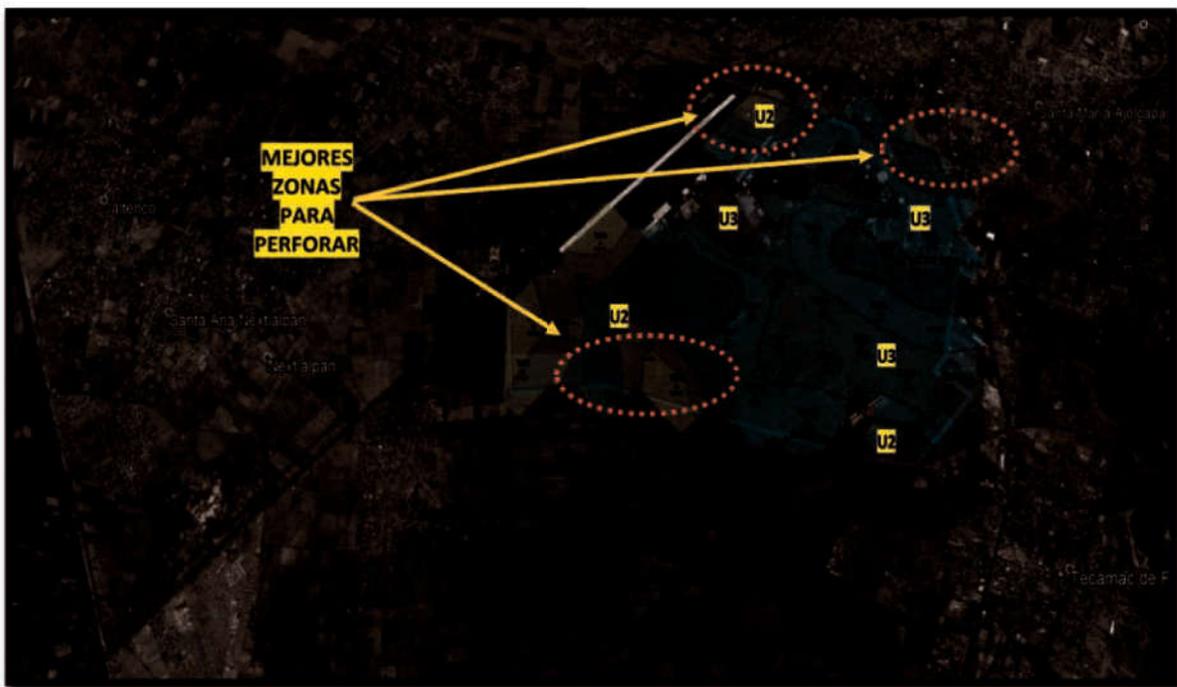


Figura 16 – Imagen de sobreposición de un corte de resistividad eléctrica a 300 metros de profundidad, que ayuda a conocer las mejores zonas con mejores características geohidrológicas para la perforación de pozos de extracción.

- Para el caso de la zona Norte y Noreste, el perfil geoelectrico correspondiente abarca los sondeos 37, 38, 42, 43 y 44, siendo el **TEM 37** y **TEM 42** los más idóneos. Por lo tanto, se recomienda una perforación exploratoria hasta una profundidad de **300 metros** para alcanzar el máximo espesor de la U2 (tal como se aprecia en la siguiente figura).





(En caso de que los planos y requerimientos del proyecto de construcción del aeropuerto lo requieran, cualquiera de los sondeos antes mencionados puede ser una opción ya que la unidad objetivo (U2), se comporta de manera homogénea en su distribución).

- Las coordenadas de localización de los sondeos propuestos para perforación se enlistan en la siguiente tabla:

COORDENADAS UTM ZONA 14 Q DATUM WGS 84			
Sondeo	Norte (m)	Este (m)	Profundidad Tentativa
TEM 37 (Opción 1)	2185164	500048	300 metros
TEM 42 (Opción 2)	2184890	501471	

Tabla 6 – Coordenadas de localización de los sondeos propuestos para la perforación

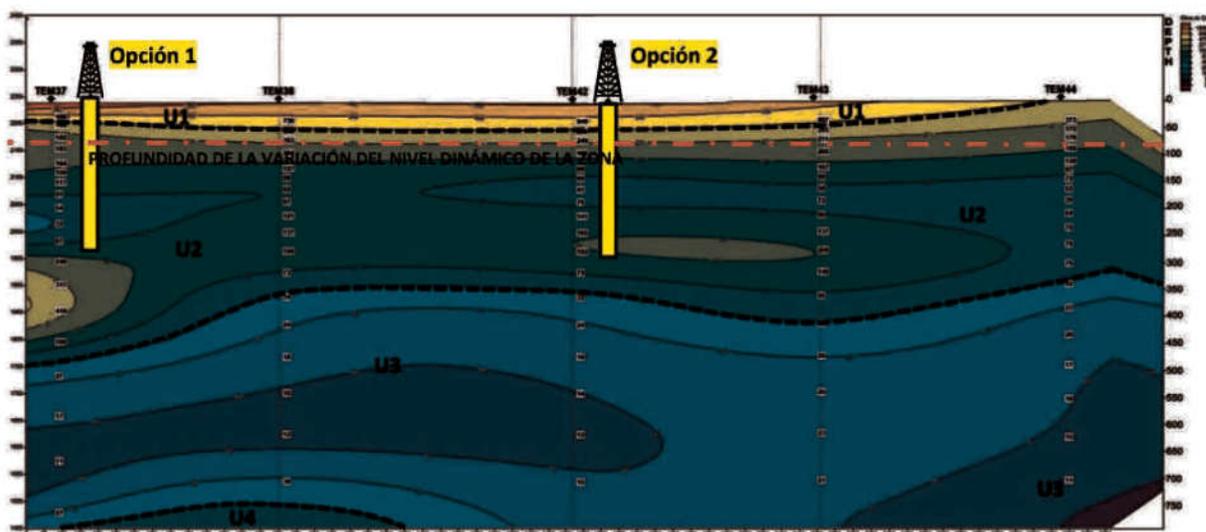


Figura 17 – Propuesta de perforación exploratoria para la zona Norte y Noreste.

- Para el caso de la zona Suroeste, el perfil geoelectrico correspondiente involucra a los sondeos 2, 3, 4, 8, 13, 14 y 20, siendo los **TEM 2 y TEM 8** los más idóneos. Por lo tanto, para estos se recomienda una perforación exploratoria hasta una profundidad de entre 400 y 450 metros, con el fin de atravesar la U3 que aparece a los 200 metros





y abarcar el mayor espesor posible de U2 (tal como se muestra en la siguiente imagen).

(De igual manera, en caso de que los planos de construcción del proyecto del aeropuerto lo requieran, puede optarse por perforar en cualquiera de los sondeos 2, 3, 4 u 8).

- Las coordenadas de localización de los puntos mencionados anteriormente para la perforación, se enlistan en la siguiente tabla:

COORDENADAS UTM ZONA 14 Q DATUM WGS 84			
Sondeo	Norte (m)	Este (m)	Profundidad Tentativa
TEM 2 (Opción 1)	2182203	496611	450 metros
TEM 8 (Opción 2)	2181471	498577	

Tabla 7 – Coordenadas de localización de los sondeos propuestos para la perforación

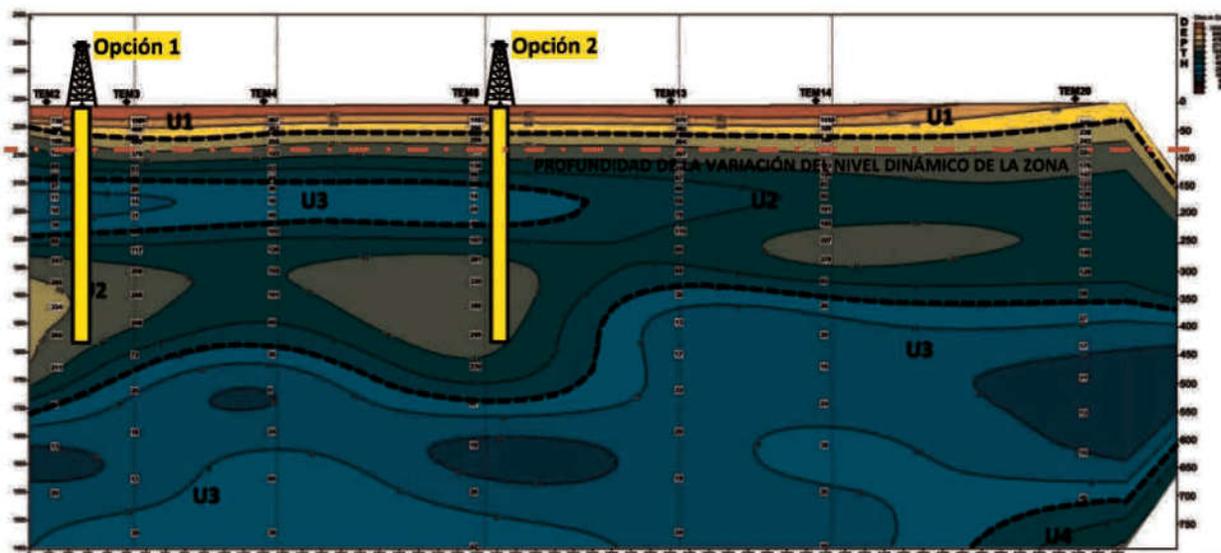


Figura 18 – Propuesta de perforación exploratoria para la zona Suroeste.

- De acuerdo a la norma de la CNA que establece que la distancia mínima que puede existir entre 2 pozos de extracción es de 500 m, se traza un radio de circunferencia





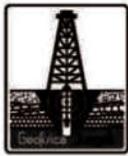
sobre los pozos ya existentes para corroborar que los puntos propuestos cumplen con dicho requisito.



Figura 19 – Delimitación de circunferencias en pozos existentes, de acuerdo a la norma de CNA.

- Finalmente, se recomienda que, una vez terminada la etapa de perforación exploratoria, se realice el Registro Geofísico del Pozo (R.G.P.), el cual, servirá para obtener información directa de las posibilidades reales de las formaciones perforadas, lo cual puede definir la continuidad o cancelación del proyecto, así como definir la terminación más adecuada en caso de que el pozo sea favorable.
- Los diseños de los pozos según la profundidad a perforar (300 o 450 metros), se encuentran en el anexo 7.
- Los diseños pueden variar de acuerdo a la información arrojada por el R.G.P en su etapa exploratoria. Así mismo, el estudio de RGP arrojará información más directa de las capas que componen el subsuelo y ayudará a determinar e identificar las capas permeables y no permeables y de esta manera proponer de una forma más acertada la terminación del pozo.





- El diseño y colocación de la bomba se definen una vez realizado el aforo del pozo. Con esta información se calcula la cantidad de columna y potencia de la bomba para el funcionamiento óptimo del pozo.

REGISTRO GEOFÍSICO DE POZO (R.G.P.)

Es fundamental en la etapa exploratoria realizar el registro eléctrico para tener la seguridad del potencial real de la exploración. La información que brinda el Registro Geofísico en el pozo es muy valiosa, ya que se evalúa de forma directa las posibilidades reales de la exploración y de esta manera podemos realizar un diseño de terminación del entubado del mismo, así como obtener el mejor rendimiento del pozo o en su defecto cancelar el proyecto.

Los registros Geofísicos de calidad más comunes y aceptados son digitales y multiparámetro. La información que se obtiene de un registro multiparámetro digital, se hace por medio de mediciones que se realizan a las formaciones exploradas en un pozo, a través de una sonda (herramienta geofísica) con la cual se obtiene de manera simultánea los parámetros siguientes:

1. *Curva de resistividad normal de 16" (.40 m.).*
2. *Curva de resistividad normal de 64" (1.626 m.).*
3. *Curva de resistividad lateral o inversa.*
4. *Curva de resistencia eléctrica puntual.*
5. *Curva de radioactividad gamma natural.*
6. *Curva de resistividad del fluido.*
7. *Curva de potencial espontáneo (S.P.).*
8. *Curva de temperatura.*
9. *Curva de diferencial de temperatura*
10. *Curva de S. P. condicional.*

Todas estas curvas variarán de acuerdo a la profundidad y de acuerdo donde se localice el agua de formación o el fluido de perforación. A cada curva del registro eléctrico ya sea analógico o digital, se le indicará su escala y los valores de cada una de ellas en el encabezado y pie del mismo.





SEDENA
SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL



ESTUDIO GEOFÍSICO "CAMPO MILITAR No. 37-D"
GEOYEK19-050-TEM

A cada curva del registro eléctrico ya sea analógico o digital, se le indicará su escala y los valores de cada una de ellas.

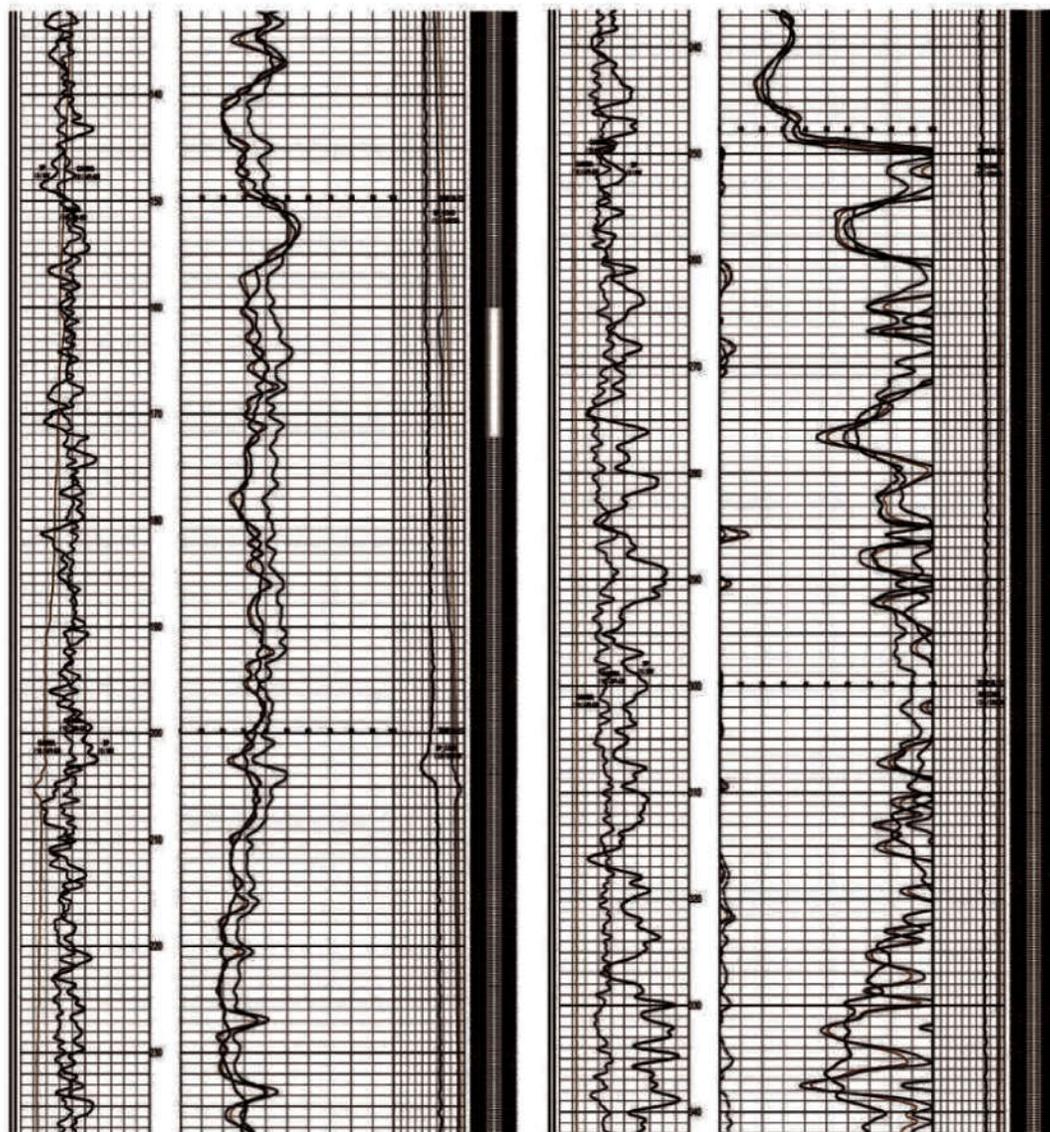


Figura 20 – Ejemplo de registro eléctrico multiparámetro.

Es importante hacer hincapié, que el diseño de terminación final del pozo se debe realizar con la información que se obtenga por medio del registro efectuado durante la perforación exploratoria, ya que con esta información podemos determinar con exactitud los acuíferos



Empresa mexicana, dedicada al estudio, exploración, y perforación del subsuelo.
contacto@geofisicajuayek.com
<http://geofisicajuayek.com/>



presentes del pozo y las zonas que se aprovecharán, así como, las que se deben de aislar o no aprovechar por su tipo de material o calidad de agua.

- RECOMENDACIONES (POZOS DE INFILTRACIÓN)

- Para el caso de los pozos de infiltración, el objetivo del estudio es identificar las zonas en donde se presente el mejor intervalo de material con las mejores características de permeabilidad. Para este caso, toda el área estudiada cuenta con una capa que se comporta de manera homogénea que corresponde a roca ígnea fracturada con permeabilidad de tipo secundario, lo que favorece a un buen índice de infiltración hacia las capas subterráneas.
- Con ayuda de las imágenes de anexo 4, se pueden identificar las zonas en las que se tiene presencia de roca fracturada en superficie, y zonas en las que la roca presenta mayor fracturamiento y se encuentra intercalada con brechas y conglomerados, todos con buena permeabilidad de tipo I y II.
- U1: Roca fracturada; U2: Roca muy fracturada con brechas y conglomerados.
- En general los pozos de infiltración de la zona tienen profundidades medias de entre 45 y 50 m, manifestando el mayor índice de permeabilidad entre los 30 y 50 m de profundidad. Es necesario comentar que, por norma, los pozos de infiltración de aguas pluviales deben estar alojados por lo menos 5 metros por arriba del nivel estático de la zona, el cual, oscila entre los 60 y 70 m aproximadamente en el acuífero local del predio estudiado.
- Para entender mejor lo antes escrito se muestra un corte en planta a 50 m de profundidad en el cual se muestran las zonas con mayor presencia de roca ígnea fracturada en los colores amarillo a naranja, los cuales corresponden a la U1, por lo que se recomiendan los siguientes puntos de perforación en toda la zona con profundidades no mayores a 50 m.



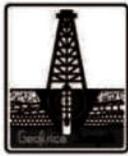


Figura 20 – Imagen de sobreposición de un corte de resistividad eléctrica a 50 metros de profundidad, que ayuda a conocer las mejores zonas con mejores características geohidrológicas para la perforación de pozos de absorción.

- Los puntos donde se recomienda realizar los pozos de infiltración son los siguientes:

COORDENADAS UTM – DATUM WGS 84 – ZONA 14 Q			
SONDEO	NORTE (m)	ESTE (m)	PROFUNDIDAD (m)
TEM 3	2182153	497019	50 m
TEM 9	2183297	497544	
TEM 12	2182051	499285	
TEM 14	2181062	500318	
TEM 30	2183018	500995	
TEM 31	2182404	501405	
TEM 33	2184582	499581	
TEM 34	2183525	501167	
TEM 40	2183369	502233	
TEM 41	2182987	502447	

- En el anexo 8 se puede visualizar el anteproyecto constructivo del pozo propuesto para el presente estudio.

