



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE INGENIERÍA
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MAESTRÍA EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

DETERMINACIÓN DEL MODELO GEOELÉCTRICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA
DE RECARGA ARTIFICIAL, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES SUR, EN CHIHUAHUA, MÉXICO.

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

LIZETTE MARMOLEJO NÚÑEZ

CHIHUAHUA, CHIH

ENERO/2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

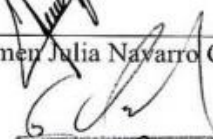
DETERMINACIÓN DEL MODELO GEOELÉCTRICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA
DE RECARGA ARTIFICIAL, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES SUR, EN CHIHUAHUA, MÉXICO.

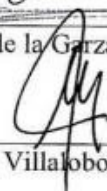
TESIS

PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRO DE INGENIERÍA

APROBADO:


Dra. Carmen Julia Navarro Gómez, director


MI. Rodrigo de la Garza Aguilar, sinodal


Dr. Alejandro Villalobos Aragón, sinodal

ENERO/2017

CHIHUAHUA, CHIH.

Derechos reservados
© Lizette Marmolejo Núñez
C. Palmanova 18928 Las Aldabas CP. 31117
Chihuahua, México.
2017

Copyright ©

por

Lizette Marmolejo Núñez

2017

6 de enero de 2017

ING. LIZETTE MARMOLEJO NÚÑEZ

Presente

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **Dra. Carmen Julia Navarro Gómez** para que lo desarrolle como tesis, con el título: **“DETERMINACIÓN DEL MODELO GEOELÉCTRICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE RECARGA ARTIFICIAL, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SUR, EN CHIHUAHUA, MÉXICO”**.

ÍNDICE

Agradecimientos

Resumen

Índice de tablas

Índice de figuras

Capítulo 1. Marco teórico

- 1.1 Introducción
- 1.2 Antecedentes
- 1.3 Justificación
- 1.4 Objetivo general
- 1.5 Objetivos específicos
- 1.6 Problemática
- 1.7 Hipótesis

Capítulo 2. Estado del arte

Capítulo 3. Medio físico

- 3.1 Zona de estudio
- 3.2 Geomorfología
- 3.3 Geología y estratigrafía
- 3.4 Hidrografía
- 3.5 Fisiografía
- 3.6 Clima
- 3.7 Edafología

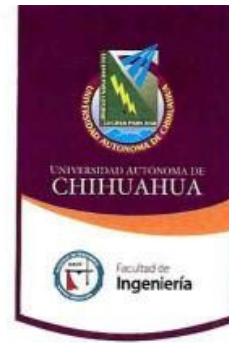
Facultad de Ingeniería

Circuito No.1, Campus Universitario 2

Chihuahua, Chih. C.P. 31125

Tel. (614) 442-95-00 www.fing.uach.mx





Capítulo 4. Metodología

- 4.1 Prospección geofísica
- 4.2 Sondeos eléctricos verticales
- 4.3 Arreglo Schlumberger
- 4.4 Arreglo Wenner
- 4.5 Trabajo de campo e interpretación

Capítulo 5. Resultados

- 5.1 Perfiles geoelectricos
- 5.2 Modelo geoelectrico

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

Referencias

Curriculum vitae

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

FACULTAD DE
INGENIERIA
U.A.C.H.



DIRECCIÓN

EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

DR. FERNANDO RAFAEL ASTORGA
BUSTILLOS

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios que me permitió terminar una meta más en mi vida.

A la Universidad Autónoma de Chihuahua por permitirme una vez más ser parte de esta gran casa de estudios y a todos los catedráticos por los conocimientos adquiridos en este periodo.

A la directora de tesis Dra. Carmen Julia Navarro G. por su apoyo y asesoramiento a lo largo de esta investigación.

Al MI. Rodrigo De la garza Aguilar por siempre haberme brindarme su apoyo, paciencia y comprensión a lo largo de los años de estudio en esta universidad

Al Dr. Alejandro Villalobos Aragón por su apoyo y compartir siempre su conocimiento y experiencia.

A mi familia que siempre ha creído en mí

A Natalia Rueda por haberme brindado palabras de apoyo cuando lo necesite y por toda su ayuda a lo largo de este estudio.

A mis amigas Gladys y Raquel por las enseñanzas y momentos compartidos pero sobre todo por su amistad.

A todas esas personas importantes que siempre me brindaron su apoyo para seguir adelante.

RESUMEN

El agua subterránea es la principal fuente de agua potable en el mundo, particularmente la ciudad de Chihuahua presenta una escasez de este líquido, esto se debe a que ha sobrepasado las reservas de sus mantos acuíferos, por lo cual es de suma importancia el impulso de proyectos de recarga artificial de acuíferos. Con esta investigación se busca aportar el conocimiento adicional para comprender cómo se conforma la geometría del subsuelo, a lo largo de un kilómetro de radio alrededor de la balsa de infiltración que se ubica al sur de la ciudad y con esto conocer y/o entender el comportamiento que tendrá el flujo infiltrado. El método utilizado para realizar este modelo geoelectrico fue mediante sondeos eléctricos verticales con arreglos electródicos Schlumberger y Wenner. Nueve sondeos fueron realizados y se reprocesaron diez más obtenidos de estudios previos, todos estos dentro del área de estudio, con la interpretación de estos 19 sondeos y con cortes litológicos de pozos, se realizó el modelo. El modelo presenta una profundidad de investigación máxima de 500 metros, con la cual se determinó que el área está conformada principalmente por cuatro unidades litológicas de material no consolidado, los cuales son consistentes con materiales del relleno de un valle.

ABSTRACT

Groundwater is the main source of drinking water in the world, particularly Chihuahua city presents a shortage of this liquid, because the aquifers reserves have been exceeded, therefore it is of utmost importance to promote projects of artificial recharge of aquifers. This research aims to provide additional knowledge to understand how conforms the underground geometry over a kilometer of radius around of the infiltration raft located to the south of the city, in order to comprehend the behavior that will have the infiltrated flow. The method used to process this geoelectrical model was using vertical electrical soundings (VES) with two electrode arrays, Schlumberger and Wenner. Nine vertical electrical sounding were realized and ten more were reprocessed obtained from previous studies, all these within the study area, with the interpretation of these 19 VES and lithological logs from Wells, the model was carried out. The model presents an investigation depth within 500 meters, with wich it was determined that the area consists of mainly four lithological unids of unconsolidated material, wich are consistent with a valley filling materials.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Índice De Tablas	xii
Índice De Figuras.....	xiii
Capítulo 1: Marco Teórico.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivo General.....	4
1.5 Objetivos Específicos	4
1.6 Problemática	4
1.7 Hipótesis	5
Capítulo 2: Estado Del Arte	5
Capítulo 3: Medio Físico	11
3.1 Zona De Estudio	11
3.2 Geomorfología.....	14
3.3 Geología Y Estratigrafía	15
3.3.1 Metalutita-Metaarenisca	15
3.3.2 Arenisca-Limolita.....	16
3.3.3 Caliza Y Yeso.....	16
3.3.4 Calizas.....	17



3.3.5 Toba Rioltica	17
3.3.6 Conglomerado Polimíctico	18
3.3.7 Limos-Gravas-Arenas.....	18
3.4 Hidrografía.....	22
3.5 Fisiografía.....	24
3.6 Clima.....	26
3.7 Edafología.....	31
3.7.1 Leptosoles	31
3.7.2 Chernozem	31
3.7.3 Cambisol	32
3.7.4 Phaeozem	32
3.7.5 Regosol	33
3.7.6 Calcisol	33
3.7.7 Fluvisol	33
Capítulo 4: Metodología	35
4.1 Prospección Geofísica	35
4.2 Sondeos Eléctricos Verticales.....	36
4.3 Arreglo Schlumberger	38
4.4 Arreglo Wenner	39
4.5 Trabajo De Campo E Interpretación.....	41
4.5.1 Recorrido Previo	41
4.5.2 Ejecución De Los Sondeos Eléctricos Verticales	41



4.5.3 Procesamiento De Información	43
4.5.4 Sondeos Eléctricos Verticales Procesados.....	46
Capítulo 5: Resultados	65
5.1 Perfiles Geoelectricos	65
5.2 Modelo Geoelectrico	74
Capítulo 6: Conclusiones Y Recomendaciones	82
Referencias	85
Curriculum Vitae	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas periféricas de la zona de estudio	14
Tabla 2. Evaporación, precipitación y temperaturas anuales	29
Tabla 3. Distribución electródica en metros utilizada para arreglo Schlumberger	39
Tabla 4. Arreglo Wenner adaptado para la planta de tratamiento sur (Magallanes, 2014).....	40
Tabla 5. Resistividades de varias rocas y sedimentos (Reynolds, 1997)	71
Tabla 6. Resistividades de rocas comunes y minerales (Ohm-metros) (Milsom, 2003).....	72
Tabla 7. Resistividades de rocas ígneas y metamórficas (Telford, 1976).....	72
Tabla 8. Valores resistivos de minerales y rocas (Orellana, 1982).....	73
Tabla 9. Compilación de valores resistivos	73
Tabla 10. Resistividades para la zona de estudio.....	73



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del acuífero Tabalaopa-Aldama.....	12
Figura 2. Área de estudio.....	13
Figura 3. Plano geológico y estructural del acuífero Tabalaopa-Aldama.....	19
Figura 4. Columna estratigráfica de unidades aflorantes dentro de los límites de acuífero.....	20
Figura 5. Geología del área de estudio... ..	21
Figura 6. Plano hidrográfico... ..	23
Figura 7. Provincias fisiográficas	25
Figura 8. Plano de climas.....	27
Figura 9. Histograma de evaporación	29
Figura 10. Histograma de precipitación.....	30
Figura 11. Histograma de temperatura	30
Figura 12. Plano de edafología	34
Figura 13. Clasificación de los métodos geofísicos basado en la información de Álvarez, 2003...36	
Figura 14. Esquema idealizado de un SEV basado en figuras de Reyes, 2009... ..	37
Figura 15. Arreglo electródico Schlumberger... ..	38
Figura 16. Paralelepípedo afectado por el arreglo Schlumberger (Auge, 2008).....	39
Figura 17. Arreglo electródico Wenner... ..	40
Figura 18. Distribución de los SEV's realizados en el área de estudio... ..	42
Figura 19. Equipo Syscal Junior... ..	43
Figura 20. Trabajo de campo... ..	43
Figura 21. Distribución de los 19 SEV's	45
Figura 22. Perfil geoelectrico en la parte norte del área de influencia.....	65
Figura 23. Perfil geoelectrico 1 en la parte central del área de influencia	66
Figura 24. Perfil geoelectrico 2 en la parte central del área de influencia.....	67



Figura 25. Perfil geoelectrico en la parte este del área de influencia	68
Figura 26. Perfil geoelectrico en la parte sureste del área de influencia	69
Figura 27. Perfil geoelectrico en la parte sur del área de influencia.....	70
Figura 28. Vista en planta de los SEV's en GMS.....	74
Figura 29. Sección lateral N-S con vista al oeste	75
Figura 30. Vista oblicua de la distribución en 3D de los SEV's	75
Figura 31. Vista en planta del modelo en 3D.....	76
Figura 32. Vista lateral N-S viendo al oeste	77
Figura 33. Vista lateral E-O viendo al norte.....	77
Figura 34. Vista oblicua del modelo 3D.....	78
Figura 35. Vista oblicua de la base del modelo 3D	78
Figura 36. Vista en planta de la distribución de las secciones.....	79
Figura 37. Vista oblicua 1 de las secciones	80
Figura 38. Vista oblicua 2 de las secciones	80
Figura 39. Vista oblicua 3 de las secciones	81
Figura 40. Vista oblicua 4 en zoom del área de las arenas arcillosas	81

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento y la gestión del recurso hídrico deben basarse en el manejo del agua renovable y su desarrollo sostenible. El agua es un recurso necesario para la vida ya que es indispensable para toda la actividad humana, es necesario conservar los recursos existentes, renovarlos y si es posible aumentarlos, para lo cual una de las alternativas existentes en la actualidad es la recarga artificial de los acuíferos, mediante algunos métodos ya sean como sistemas en profundidad o en superficie. Los pozos de recarga directa son un método utilizado en los sistemas de profundidad y consisten básicamente en la inyección o infiltración directa del agua en el acuífero, este sistema permite grandes tasas de infiltración pero el agua debe tener por mínimo la misma calidad que el agua nativa donde será infiltrada (Cortez, 2012).

Una balsa de infiltración es un sistema de recarga en superficie, el cual consiste en una excavación en un terreno, donde el lecho se conforma de un material permeable y paredes impermeables con una pendiente aproximada de 60% para permitir el escurrimiento y el aprovechamiento de agua meteórica (Murillo, 2004), la ventaja que proporciona este sistema es que al no estar en contacto con la zona saturada aprovecha la zona vadosa como un filtro natural, permitiendo que el agua recargada llegue a la zona saturada con mejor calidad (Cortez, 2012).

Así mismo es importante mencionar que la caracterización de un acuífero es primordial para conocer el comportamiento del agua en el subsuelo, siendo los métodos geofísicos un apoyo fundamental para tal propósito. Los sondeos eléctricos verticales son una de las herramientas principales para la localización del agua subterránea, donde «el

principio general de la prospección por SEV se basa en la inyección de una corriente eléctrica I entre dos electrodos A y B, y la medida de una diferencia de potencial ΔV entre otros dos electrodos M y N (dichas de potencial)» (Bakkali, Saad, 2006). En este estudio y para dichos sondeos se emplearon diferentes geometrías tales como Schlumberger y Wenner.

El arreglo Schlumberger es considerado como la geometría tradicional en la exploración y uno de mayor efectividad para la identificación de las fallas en el subsuelo (Sotelo, 2013). Por último el arreglo Wenner se utiliza comúnmente para determinar los cambios laterales de resistividad y conocer las anisotropías así como las propiedades litológicas en relación con la humedad, cantidad y la calidad del agua (Reyes, 2009).

1.2 ANTECEDENTES

En Argelia, África, se determinó la caracterización hidrogeológica de la cuenca Dajla mediante la utilización de sondeos eléctricos verticales con el objetivo de caracterizar los acuíferos de la zona y encontrar nuevas áreas de abastecimiento para la región mediante la construcción de pozos, en este estudio realizaron 20 sondeos eléctricos verticales que ayudaron a la correlación de las resistividades con la litología encontrando así con esta caracterización las zonas más favorables para la ubicación de nuevos pozos (López & Lorenzo, 2010).

Por otra parte en España en la región de Tarragona, se llevó a cabo un estudio geofísico para determinar el grosor de las capas en el subsuelo y sus resistividades en acuífero en la cuenca de Valls, en dicho estudio se utilizó el software denominado RESIX,

interpretando los datos de resistividad eléctrica para caracterizar el acuífero (Sendros, 2012).

Reyes (2009), realizó un estudio en el área de Cuba Libre en el estado de Guerrero, México, en donde mediante la utilización de sondeos eléctricos verticales determinó las áreas de consideración para la construcción de pozos de abastecimiento y mediante la correlación litológica, estableció qué áreas podría ser económicamente viable.

En el estado de Chihuahua, Magallanes (2014) realizó una exploración geoeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales sur, en la cual obtuvo la caracterización de los diferentes estratos en la zona no saturada y así la determinación ideal para la ubicación del lecho filtrante de la zona de recarga.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en esta planta tratadora, se está llevando a cabo un proyecto piloto de recarga artificial mediante una balsa de infiltración, sin embargo la falta de información no permite la definición de un modelo conceptual (geológico- geofísico) que dé a conocer el comportamiento del flujo en las áreas, al momento de la recarga por lo que esto genera un problema serio a resolver. Por lo tanto es necesario la determinación de la geometría de la zona de influencia del área de recarga mediante sondeos eléctricos verticales y así apegar a la Norma Oficial Mexicana (NOM-014-CONAGUA-2003), la cual establece los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada, donde en el apartado sexto, sección de localización decreta conocer las propiedades hidráulicas en una zona circular de radio mínimo de un kilómetro alrededor de la obra (Conagua, 2003).

1.4 OBJETIVO GENERAL

Este trabajo de investigación pretende determinar mediante sondeos eléctricos verticales la geometría del área de influencia comprendida en un kilómetro a la redonda de la balsa de infiltración ubicada en la planta de tratamiento de agua residuales sur, Chihuahua, México.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En consecuencia los objetivos particulares:

- 1.-Recopilar información existente del área, como geológica, hidrológica, edafológica y geofísica realizada previamente.
- 2.-Analizar la información recabada.
- 3.-Seleccionar los puntos de interés para realizar los sondeos eléctricos verticales.
- 4.-Determinar los arreglos para los sondeos según las áreas disponibles para llevarlos a cabo.
- 5.-Realizar los sondeos.
- 6.-Interpretar y correlacionar la información obtenida en los sondeos.
- 7.-Definir la geometría del área de influencia de la zona de recarga.

1.6 PROBLEMÁTICA

En la zona de estudio no se cuenta con un modelo geoeléctrico a una escala que permita conocer las características del subsuelo, esto representa un problema a resolver debido a la balsa de infiltración contenida en el área, ya que se desconoce el comportamiento que pueda tener el flujo subterráneo al momento de las recargas a través de las capas y además con esto conocer si implica un impacto positivo o negativo.

1.7 HIPÓTESIS

Es posible con el modelo geoelectrico determinar las direcciones preferenciales que tendrá el flujo del agua residual tratada, infiltrada en el proyecto piloto de recarga artificial.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

1. GEOFIMEX realizó en 1972 un estudio geofísico realizado en los valles de Tabalaopa Aldama.

Tuvo como objetivo el definir las estructuras que eran permeables y las que son impermeables contenidas en estos valles.

Para lo cual realizaron prospecciones geofísicas que alcanzaron los mil metros de profundidad investigada.

Como resultado se pudo determinar que los sedimentos que se encuentran en el valle de Tabalaopa superan los 1000 metros de profundidad, además se determinó que existe poca relación geohidrológica entre el valle de Tabalaopa y el de Aldama Las Animas debido al cruce del Río Chuvistar.

2. Abundio Osuna Vizcarra en 1991 realizó una investigación llamada “Construcción de un modelo digital de flujo y diseño de una política de explotación optima del acuífero Tabalaopa-Aldama, Chihuahua” para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

La investigación tuvo como objetivo el análisis del funcionamiento hidrogeológico del acuífero, además de la construcción de un modelo digital que permitiera simular el flujo del acuífero y así permitir un diseño para un manejo optimo del mismo.

El modelo de simulación fue realizado con el programa Modflow, calculando los esfuerzos hidrológicos que actúan en la zona, tomando en cuenta todos los tipos de recarga.

Finalmente con la obtención de este modelo se realizó una predicción de 5 años basado en esquemas para mejorar el rendimiento y disminuir los abatimientos.

3. Rafael Chávez Aguirre en 1993, realizó el estudio “Hidrogeología física y química de la porción centro-occidental del valle de Tabalaopa-Aldama, Chihuahua” para la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

El estudio se realizó con el objetivo de obtener una comprensión de las relaciones sedimentológicas, geomorfológicas e hidrogeoquímicas que operan dentro del acuífero.

La metodología consistió en el análisis e interpretación de información hidrogeológica, hidrogeoquímica y geofísica del área, además de registros eléctricos varios cortes litológicos y sondeos eléctricos verticales.

Las conclusiones obtenidas ante este estudio fueron el determinar que se trata de un ambiente sedimentario continental de tipo abanico aluvial característica principal que incide positivamente en el funcionamiento geohidrológico del acuífero.

4. Jesús Manuel Pérez Arámbula realizó una investigación para una tesis de maestría en 1996, llamada “Determinación de la geometría del acuífero Tabalaopa-Aldama, Chihuahua”.

Con el objetivo de obtener la geometría del acuíferos empleando sondeos eléctricos verticales y varios cortes litológicos.

Se realizaron 76 SEV's y se determinó que en la curva de elevación 1300 esta se abre hacia el noreste, lugar a donde se tiene una de las principales descargas del acuífero así como la composición de un medio granular sedimentario de origen aluvial.

5. El Servicio Geológico Mexicano en el 2007 realizo Actividades geohidrológicas en los acuíferos: Santa Clara, Aldama, San Diego, Villalba, Conejos Médanos, Tabalaopa Aldama y Alto Río San Pedro, en el estado de Chihuahua.

Como resultado se pudo elaborar una base para conocer la disponibilidad de cada acuífero.

6. Blas Eduardo Magallanes Ramírez en el 2014 realizó la tesis de investigación llamada “Exploración geoeléctrica adaptada para la caracterización física del lecho filtrante en proyecto de recarga subsuperficial planta sur Chihuahua, Chih.”, para la Universidad Autónoma de Chihuahua, facultad de ingeniería.

Con el objetivo de identificar los estratos existentes en la zona con la finalidad de verificar la viabilidad del proyecto de la zona de recarga.

La metodología consistió en realizar una serie de SEV's con la geometría Wenner, utilizando el aparato Sting R1 y procesando los datos con WinSev6.

Como resultado se pudo determinar la mejor ubicación para la obra de recarga en la zona.

7. Samuel Santos Reyes Benítez en 2009 realizo la tesis “Exploración hidrogeológica mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales y sísmica de refracción en Cuba Libre, Guerrero” en la Escuela superior de ingeniería y arquitectura ciencias de la tierra del Instituto Politécnico Nacional.

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo localizar zonas factibles con agua de calidad apropiada para el consumo humano, mediante la aplicación de los métodos geofísicos.

La metodología consistió en una prospección sísmica y una eléctrica, para esta última se realizó tres SEV's con un equipo Saris de la marca Scintrex y tuvieron como profundidad máxima 30 metros, fueron interpretados con IX1D.

Como resultado de esto se pudo delimitar las zonas saturadas de agua en el subsuelo, así como la ubicación de un acuífero pero con alta salinidad.

8. Eduardo Juayek Sotelo en 2013 realizó un estudio geofísico eléctrico y electromagnético, además del análisis de registros eléctricos, denominada “Estudio geofísico para exploración de aguas subterráneas y su comprobación de resultados con registros geofísicos de pozos en Tizayuca, estado de Hidalgo”.

Tuvo como objetivo el poder ubicar pozos de explotación con probabilidades de obtener un gasto rentable de agua para un conjunto habitacional en el área.

Para el trabajo se realizaron seis SEVs distribuidos en el área así como cuatro registros eléctricos de los pozos en la zona.

Con este estudio se pudo determinar que las formaciones que presentan buena permeabilidad en el área se localizan de 60 a 90 metros de profundidad.

9. Héctor López Loera, en el 2014 realizó un trabajo de investigación denominado “Geofísica para la localización de agua subterránea en ambientes volcánicos áridos de la Mesa Central. caso La Dulcita, Villa de Ramos, San Luis Potosí México”, en la división de Geociencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

Este estudio tuvo como objetivo resolver el desabasto de agua que ocurría en la población rural La Dulcita ya que solo contaba con un solo pozo para el abastecimiento del área.

Para este estudio se empleó la geofísica, primero un estudio del campo magnético aéreo así como el terrestre, además de la aplicación del método eléctrico como los SEV's de los cuales se realizaron cinco sondeos con aberturas máximas de electrodos de 1500 y 2000 metros, estos fueron realizados con un equipo Syscal R2 de Iris Instruments e interpretados con el programa Resix Plus.

Como resultado de este estudio se localizó una zona cerca del poblado, la cual cumple con los parámetros para un acuífero.

10. Saad Bakkali en el 2005 publicó “Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hídrico de la región de Tizeght (anti-atlas marroquí)” en el Departamento de ciencias de la tierra de la facultad de tecnología y ciencia de Tánger, de la Universidad Abdelmalek Essadi, Tánger Marruecos.

Tuvo como objetivo realizar la evaluación del potencial hídrico de la región de Tizeght con el propósito de analizar los acuíferos, analizando las fuentes localizadas a profundidad ya que estas son de suma importancia para las comunidades campesinas de la región.

La metodología consistió en la elaboración de cinco sondeos eléctricos verticales con la geometría Schlumberger, dichas medidas se obtuvieron con el medidor de resistividad eléctrica GTR-2, y fueron interpretados y modelados con el programa WinSev 3.3 de Geosoft.

Este estudio permitió definir la reserva de agua subterránea ubicada en cada litología con lo cual se pudo tomar las medidas necesarias según cada una de estas como limpieza y aumento de fracturas y descartar zonas con probabilidades de existencia de acuíferos.

11. Sara Torres López, et al. En el 2010 realizó el estudio “Aplicación del método de resistividades con SEV’s para la caracterización hidrogeológica de la cuenca Dajla (Argelia)” en el departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.

Los objetivos de este estudio fueron principalmente realizar la caracterización de los posibles acuíferos en la zona así como determinar la ubicación de un pozo de abastecimiento.

La metodología del trabajo consistió en realización de 20 SEV’s con aberturas de entre 200 y 300 metros y la correlación e interpretación fueron calibrados con los pozos existentes así como los afloramientos geológicos.

Como resultado se pudo determinar la posición y espesor del acuífero salado que está presente en la zona, así como conocer el nivel del acuífero más favorable, siendo la zona de las areniscas.

12. Alexandre Sendrós Brea-Iglesias en 2012 realizó el trabajo de investigación “Aplicación de parámetros geoeléctricos en el estudio de las aguas subterráneas (Cuenca de Valls, Tarragona)” de la universidad de Barcelona.

El trabajo tuvo como objetivo principal estimar los parámetros hidrogeológicos de los acuíferos en la cuenca de Valls mediante la implementación de la geofísica.

Como metodología se utilizó tres tipos de información preexistentes de niveles piezométricos, litológicos y 141 SEV’s, estos últimos cuentan con testigos litológicos.

Los datos fueron interpretados con programa RESIX Plus.

Toda la interpretación permitió la caracterización hidráulica y vulnerabilidad a la contaminación del sistema de acuíferos.

CAPÍTULO 3: MEDIO FÍSICO

3.1 ZONA DE ESTUDIO

El área general de estudio pertenece al acuífero Tabalaopa Aldama, el cual bajo la clave 0835 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la Conagua se localiza en el centro occidente del estado de Chihuahua, específicamente en los meridianos 28°32'30'' y 29°0'00'' latitud norte y los meridianos 106°10'0'' y 105°52'0'' longitud oeste, el cual abarca una superficie de 728 km² (CONAGUA, 2015). (Ver figura 1.- Localización acuífero Tabalaopa-Aldama).

En cuanto a la división municipal comprende de manera parcial los municipios de Chihuahua, Aldama y Aquiles Serdán. A su vez colinda al norte con el acuífero Laguna El Diablo y Laguna de Hormigas, al oriente con Aldama-San Diego, así como al occidente con el acuífero Chihuahua Sacramento y finalmente al sur con el acuífero Villalba (CONAGUA, 2015). La ruta de acceso para este valle es por medio de la carretera federal número 16, que conecta la ciudad de Chihuahua con Ojinaga.

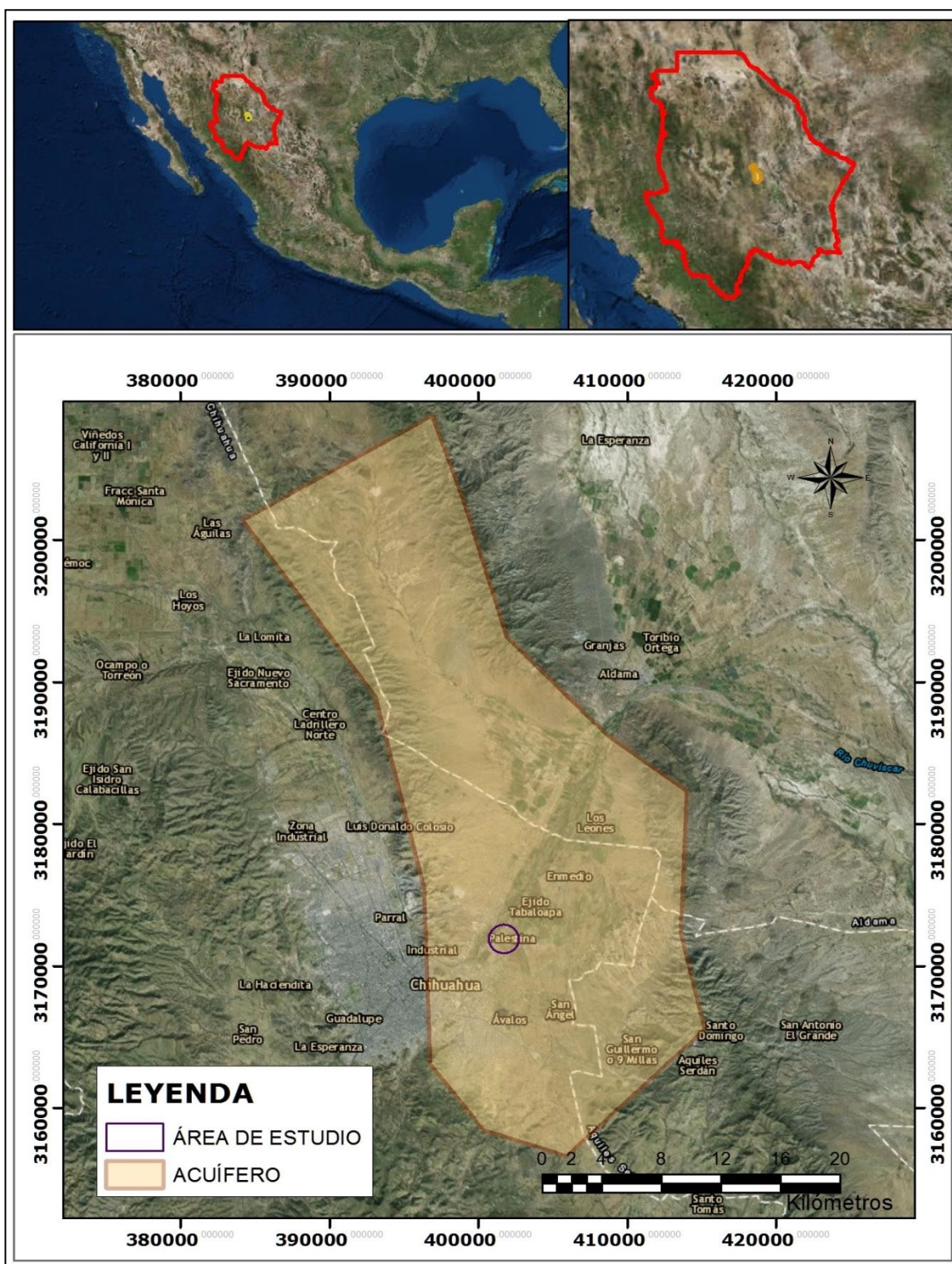


Figura. 1.- Localización del acuífero Tabalaopa-Aldama

El área de estudio de manera específica se encuentra localizada en la zona sureste de la ciudad de Chihuahua. La superficie comprendida para este estudio consiste en una circunferencia de radio de 1km teniendo como centro la balsa de infiltración, la cual está ubicada a un costado de la planta de tratamiento de aguas residuales al sur de la ciudad. (Ver figura 2.- Área de estudio), (Ver tabla 1.- Coordenadas del área de estudio).

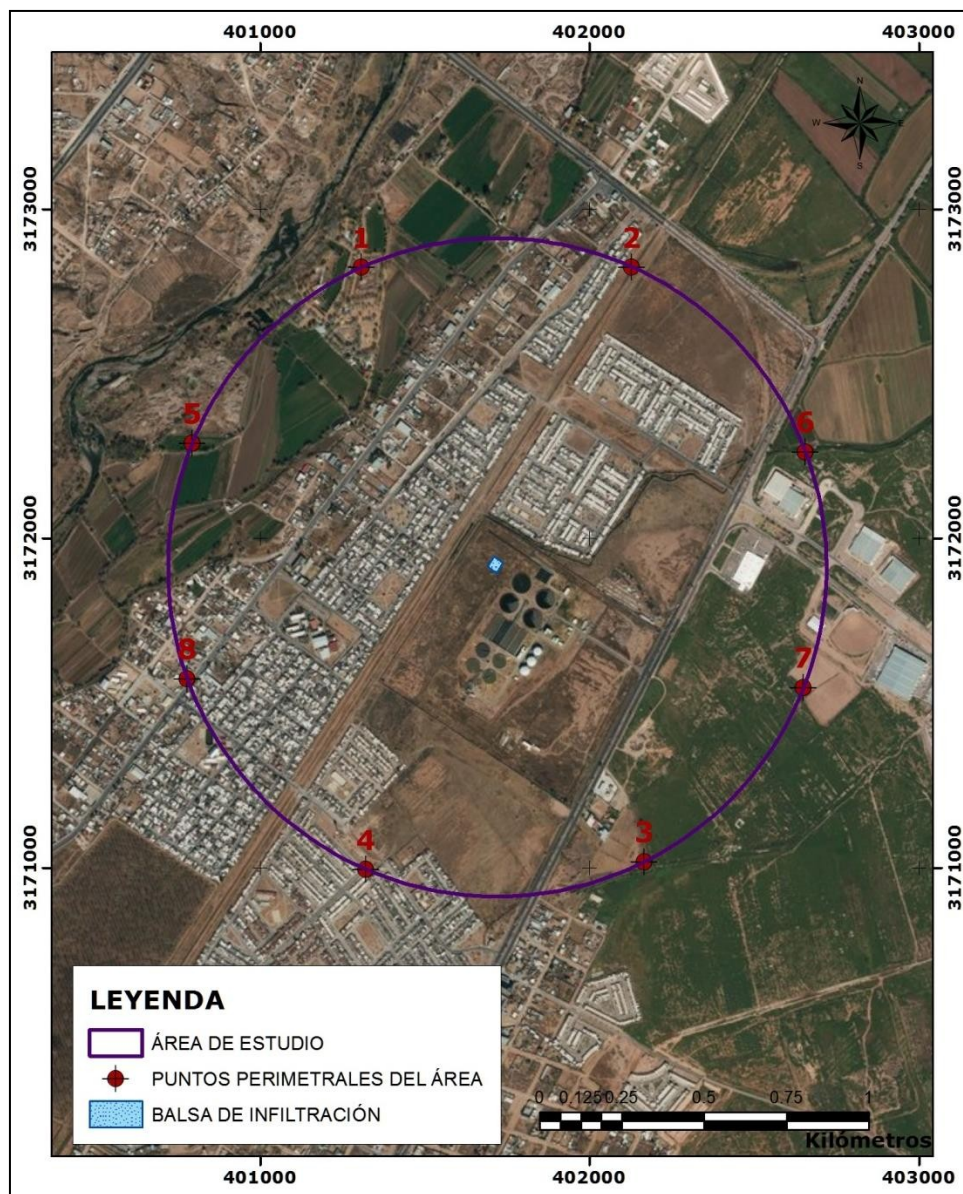


Figura 2.- Área de estudio

Tabla 1.- Coordenadas periféricas de la zona de estudio

Coordenadas en sistema WGS84 13N		
PTO	ESTE	NORTE
1	401309.723842	3172824.55006
2	402130.055318	3172824.55006
3	402168.222426	3171018.67237
4	401322.612401	3170994.84039
5	400794.001253	3172290.33637
6	402656.053716	3172264.10230
7	402551.008208	3171547.82259
8	400778.865732	3171574.19882

3.2 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del acuífero Tabalaopa Aldama corresponde a una etapa de madurez con un alto grado de denudación de las estructuras localizadas en el área así como un drenaje integrado. Siendo el drenaje de tipo dendrítico de manera paralela el más abundante seguido por el drenaje de forma radial (CONAGUA, 2015).

La geología estructural regional para esta zona es coincidente con el rumbo predominante en la sierra Nombre de Dios, noroeste el cual es cortado por otro noreste provocando un enrejado de fracturamiento abierto en mayor parte, siendo testigos fallas en minas dentro de la zona con aportaciones considerables de caudales (CONAGUA, 2015).

3.3 GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

La secuencia estratigráfica contenida en el acuífero Tabalaopa-Aldama está constituida por unidades del precámbrico, con rocas como el gneis, anfibolita y granito hasta unidades del cuaternario, constituido por rocas como conglomerados polimícticos además de depósitos de origen aluvial y fluvial (Protecci *et al.*, 2016).

Al analizar las cartas geológico-mineras del Servicio Geológico Mexicano correspondientes al área del acuífero, se puede observar que la geología contenida dentro de los límites del acuífero está compuesta principalmente por rocas ígneas extrusivas félsicas, conglomerados, calizas, lutitas-areniscas y material aluvial. (Ver figura 3 plano geológico y estructural del acuífero Tabalaopa-Aldama, ver figura 4 columna estratigráfica local de la zona del acuífero, dichas figuras fueron elaboradas por el autor en base de la información de las cartas geológico-mineras del SGM).

3.3.1 METALUTITA-METAARENISCA

Esta unidad puede ser la más antigua registrada dentro de los límites del acuífero, pertenece a la formación Rara y se encuentra hacia la porción noreste; los fósiles que se han encontrado en esta unidad han permitido datarla en el pérmico (SGM, 2006), por lo que sugiere que sobre yace a las rocas del precámbrico.

Debido al origen de esta unidad tratándose de lutitas y areniscas cementadas presenta escasa permeabilidad, sin embargo al tratarse de una formación con fuerte plegamiento da lugar a un fracturamiento secundario por lo que pudiera tener una permeabilidad baja (CONAGUA, 2015).

El control estructural principal para esta sección corresponde a la misma de la falla Los filtros la cual presenta una orientación noroeste-sureste y un echado de 70° al noreste, la foliación que presenta la unidad está orientada de mismo modo noroeste-sureste pero su echado es hacia el suroeste con un promedio de 20° .

3.3.2 ARENISCA-LIMOLITA

Esta unidad pertenece a la formación Las Vigas está conformada por una serie de limolitas con intercalaciones de areniscas, su afloramiento es muy poco pero se puede localizar hacia los límites norestes del acuífero, esta formación cubre de manera parcial a la formación Rara.

Su edad se data en el Cretácico inferior entre el Valanginiano y Hauteriviano (SGM, 2006).

3.3.3 CALIZA Y YESO

Esta unidad pertenece al grupo Cuchillo a la formación La Virgen, y está constituida por calizas, yesos y anhidritas, datada al Cretácico inferior específicamente al Aptiano. Esta formación sobre yace a la anterior mencionada formación Las Vigas y lo hace de manera transicional, esta unidad aflora de la misma manera en la parte noreste del acuífero (SGM, 2006)

El control estructural para esta porción está dado por un anticlinal llamado La Nopalera con un rumbo generalizado noroeste-sureste el cual a su vez es cortado por una

falla con el mismo nombre, La Nopalera, esta falla corta el anticlinal con un rumbo noreste suroeste con echado al noroeste.

3.3.4 CALIZAS

Estas calizas pertenecen al grupo Aurora a la formación Finlay, de igual manera afloran a la parte noreste del acuífero pero también hay afloramientos al este y suroeste del acuífero, datan del Albiano en el Cretácico inferior.

El control estructural está dado por una serie de fallamientos con dos orientaciones principales, primero una serie de fallas con una orientación noreste-suroeste con un echado en promedio de 70° al noroeste dentro de las cuales destacan falla Redonda y falla La mesa, el otro sistema tiene una orientación noroeste-sureste principalmente por la falla El Potrero además de un sinclinal llamado La Chorreadora que corre en forma paralela al anticlinal La nopalera en la formación La Virgen.

3.3.5 TOBA RIOLÍTICA

Durante el Eoceno dio lugar una serie de eventos volcánicos como caldericos, fisúrales y dómicos que dieron lugar a un paquete variado de rocas félsicas (SGM, 2006), pero siendo las del tipo riolítico de interés dentro de los límites del acuífero, esta unidad es sobre yacente a las calizas, hacia la sección noroeste del acuífero se conforma de tobas riolíticas ignimbríticas, afloramientos de riolitas al este, tobas riolíticas al oeste y sur dentro de los límites del acuífero.

3.3.6 CONGLOMERADO POLIMÍCTICO

Esta unidad recorre casi todo el acuífero en dirección norte-sur, se distribuye de manera discordante por lo que principalmente sobre yace a las rocas ígneas, pero hacia el este y noreste cubre las calizas. Esta unidad data desde el neógeno en afloramientos en la porción sur y del holoceno en la porción centro-norte.

3.3.7 LIMOS-GRAVAS-ARENAS

En este último englobaremos limos-arenas y gravas-arenas, ambos pertenecientes al cuaternario, los cuales cubren gran parte del conglomerado polimíctico, se localizan en la parte sureste dentro de los límites del acuífero, el depósito está conformado por el material de rocas preexistentes debido a los agentes erosivos.

Dentro de esta unidad se encuentra la circunferencia que delimita el área de estudio, la cual se localiza rumbo al suroeste dentro de los límites teniendo cerca afloramientos conglomeráticos y riolíticos (Ver figura 5 geología del área de estudio).

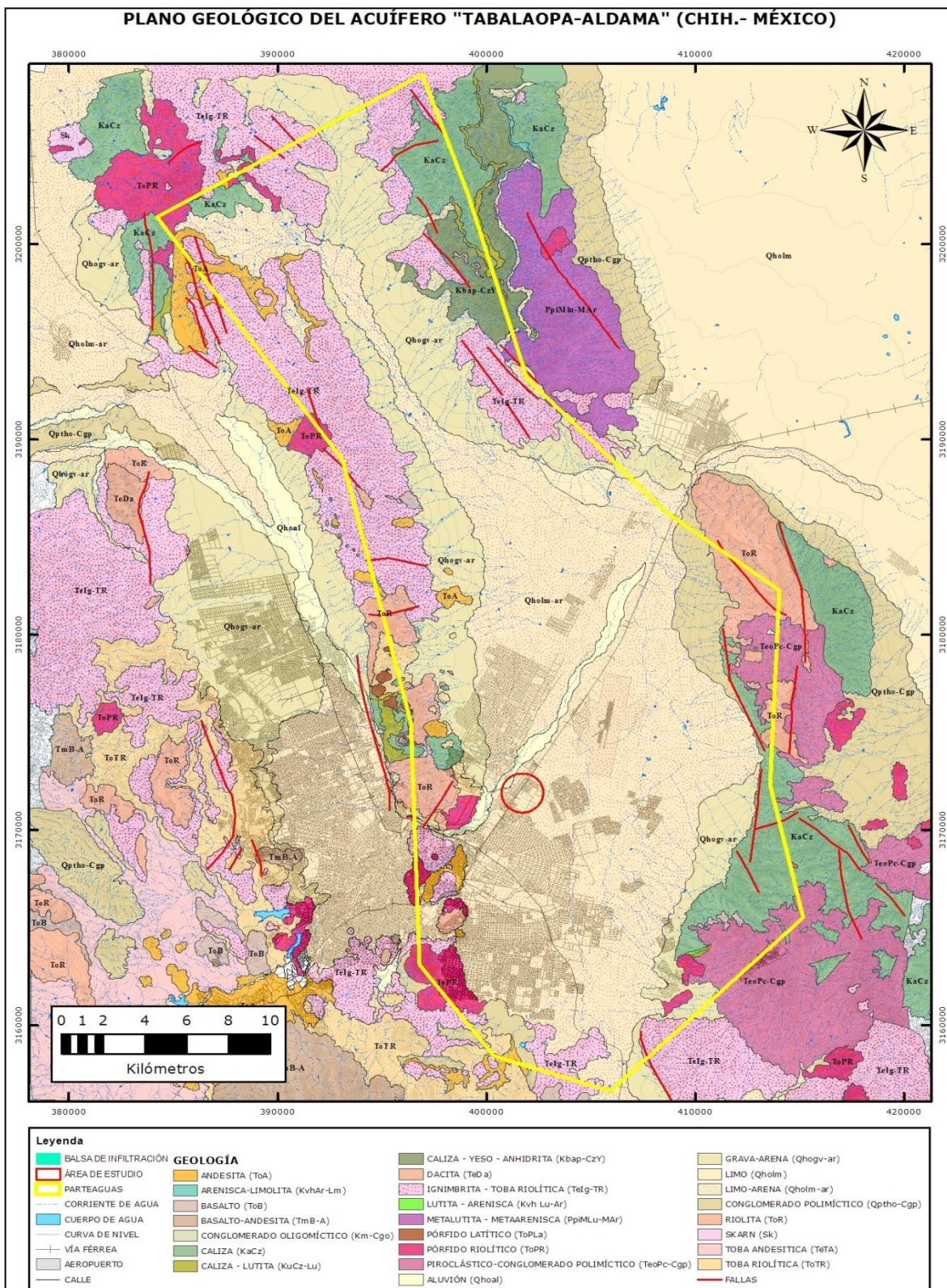


Figura 3.- Plano geológico y estructural del acuífero Tabalaopa-Adama

CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		ALUVIÓN
				LIMO-ARENA
				GRAVA-ARENA
				CONGLOMERADO POLIMÍCTICO
				CONGLOMERADO POLIMÍCTICO
	TERCIARIO	PALEÓGENO EOCENO		TOBA RIOLÍTICA
				CALIZA
				CALIZA YESO ANHIDRITA
	CRETACICO INFERIOR	VALANGINIANO HAUTERMANO		ARENISCA LIMOLITA
				ARENISCA LIMOLITA
PALEOZOICO	PÉRMICO INFERIOR			METALUTITAS METAARENISCAS

Figura 4.-Columna estratigráfica de unidades aflorantes dentro de los límites del acuífero.

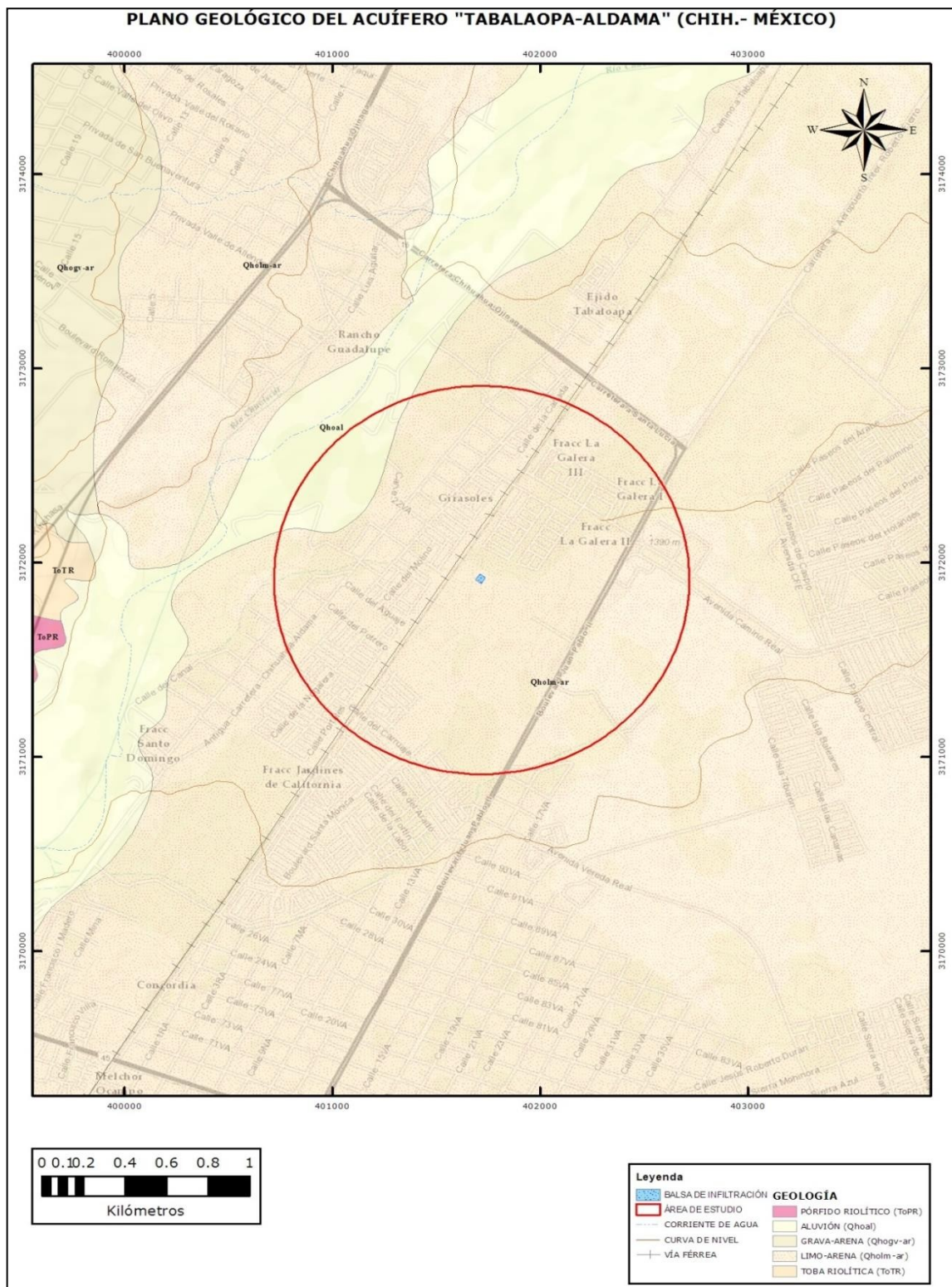


Figura 5.- Geología del área de estudio

3.4 HIDROGRAFÍA

El acuífero de Tabalaopa-Aldama pertenece a la región hidrológica número 24, Bravo-Conchos ubicada en la Mesa del Norte y que abarca Chihuahua, Durango y Coahuila.

La corriente más importante dentro del estado es el Río Conchos y el área correspondiente a este acuífero se localizan en las cuencas del Río Conchos y Presa El Granero estas dentro de la subcuenca del Chuvíscar.

Los tipos de corrientes que se presentan en el acuífero son del tipo efímeras y estacionales, es decir que solo presenta escurrimiento continuo en época de lluvia, salvo el Río Chuvíscar que lleva la descarga de la planta tratadora de aguas residuales, pero los ríos afluentes a este son El Mimbres, Los Nogales y Santa Eulalia (CONAGUA, 2015) (Ver figura 6 plano hidrográfico).

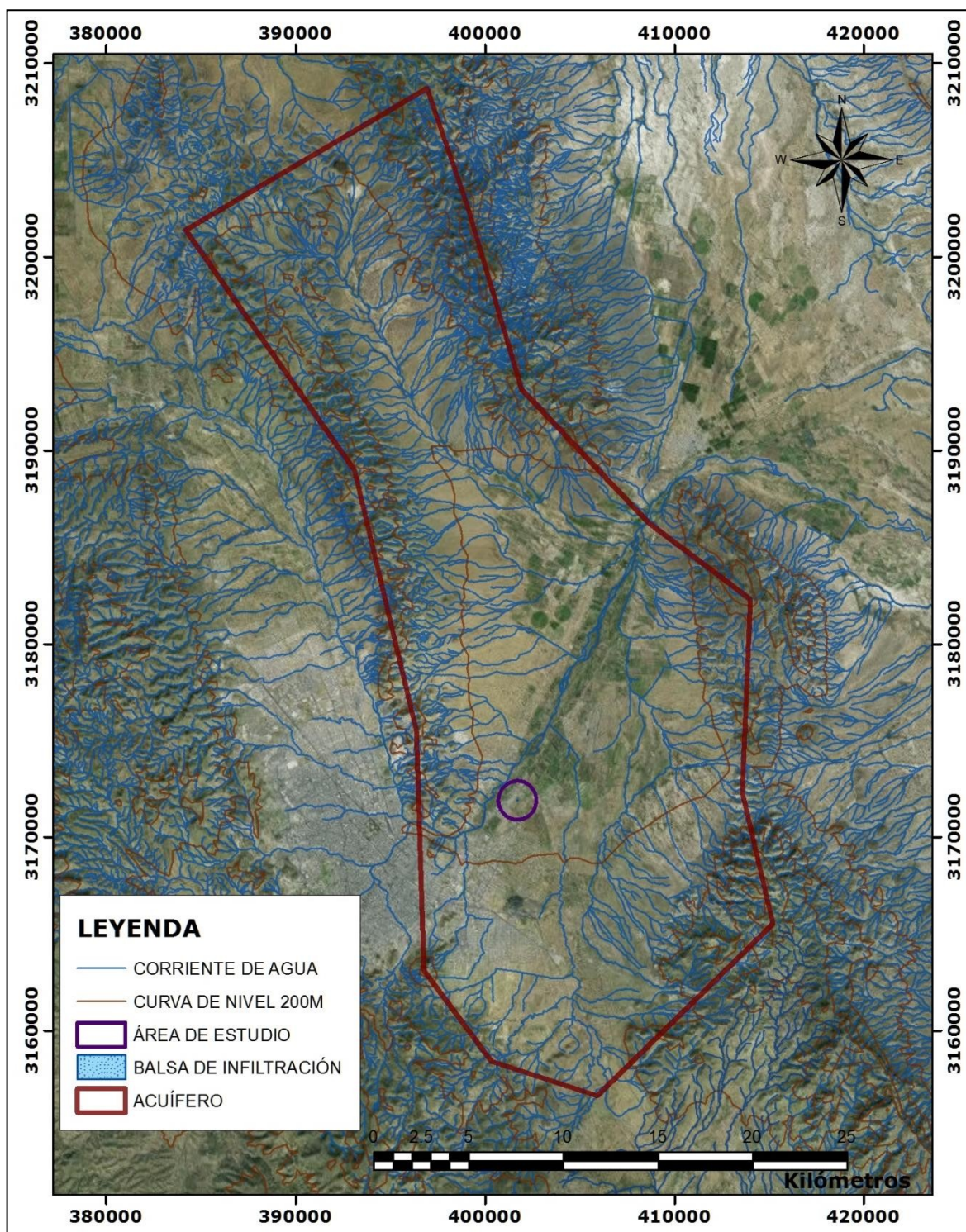


Figura 6.- Plano Hidrográfico

3.5 FISIOGRAFÍA

Los diferentes tipos de relieves existentes pueden ser muy variados unos con respecto a otros, desde enormes planicies a grandes cadenas montañosas, por lo cual el catálogo de las provincias fisiográficas permite agrupar en regiones estos relieves siempre y cuando sean el resultado del mismo origen geológico, si dentro de esta agrupación existe alguna variación entonces se tiene una o varias subprovincias.

El acuífero de Tabalaopa-Aldama incluyendo el área de estudio de manera particular se encuentra en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte la cual está constituida por sierras separadas por llanuras llamadas bolsones, de ahí el nombre de la subprovincia el Bolsón de Mapimí a la cual pertenece (INEGI, 2008) (Ver figura 7 plano de provincias fisiográficas).

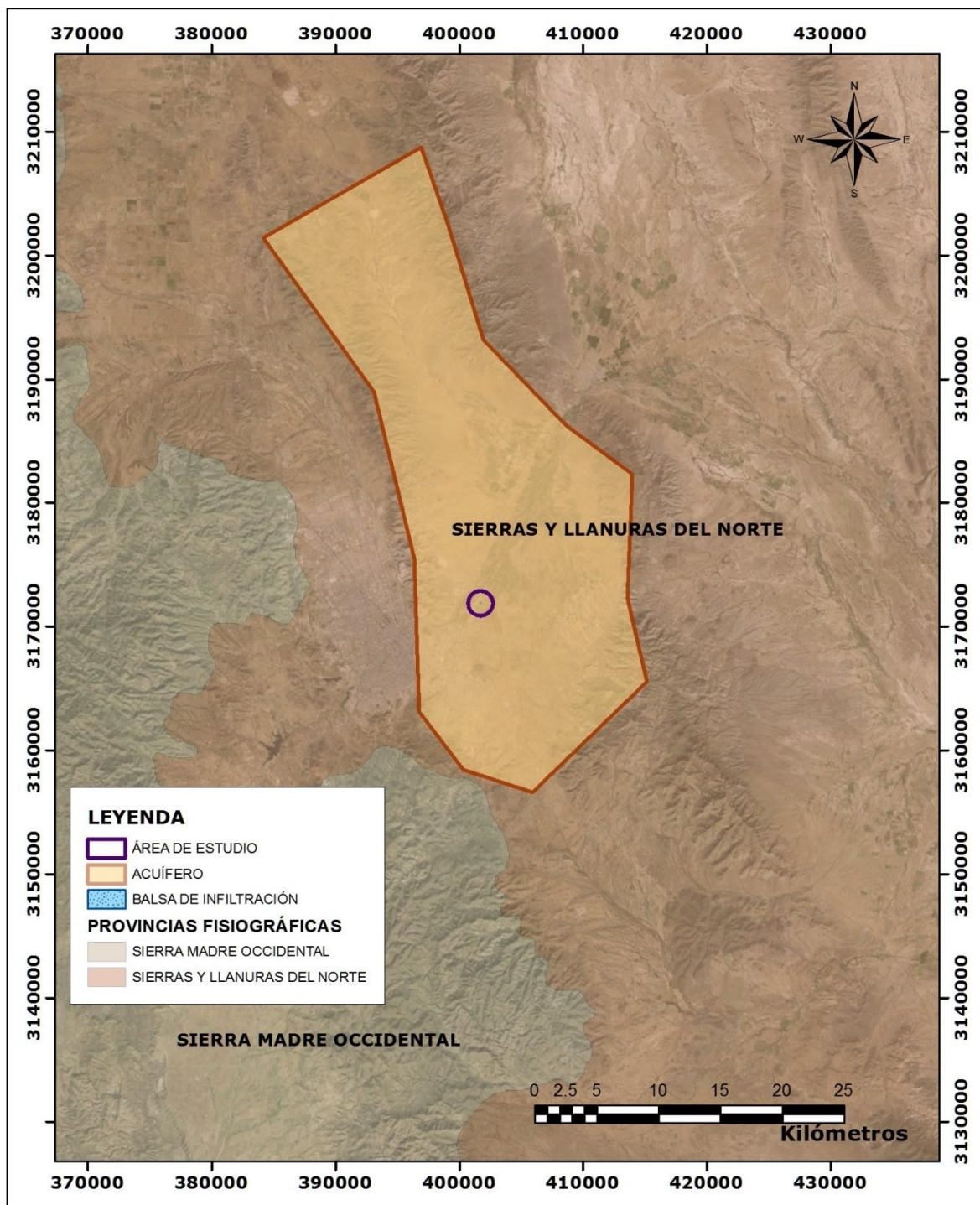


Figura 7.- Provincias fisiográficas

3.6 CLIMA

El clima puede variar de una región a otra, y se ve afectado por diferentes elementos como la temperatura, la presión atmosférica, fuerza y dirección del viento, precipitación, humedad y corrientes, esto puede afectar de manera en cambio en el clima de un día a otro. Sumado a esto se pueden adjudicar los cambios a los factores de la zona, es decir la altitud de la zona, el relieve, el tipo de vegetación contenida, su latitud, etc., estos factores si se complementan con los elementos ya mencionados describen el clima característico de una región.

Según la clasificación de W. Köppen existen dentro de los límites del acuífero de Tabalaopa–Aldama dos clases de clima, el primero es el seco templado que es el principal en cuestión de extensión territorial dentro de los límites, este clima presenta una temperatura media de 16°C, el segundo clima es el seco semicálido y predomina en la porción central dentro de los límites del acuífero, su temperatura media es de 18°C (Ver figura 8 plano de climas).

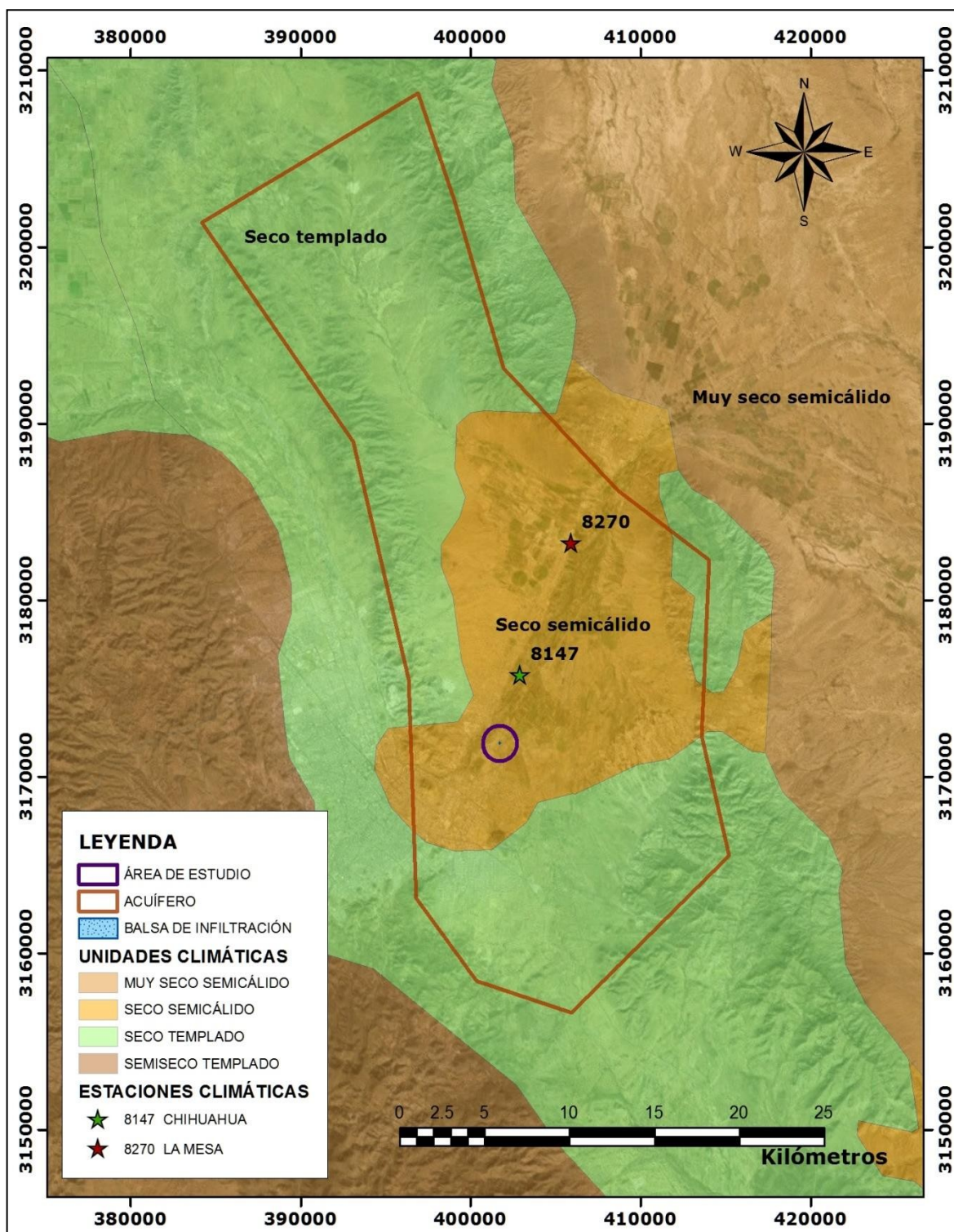


Figura 8.- Plano de climas

Existen siete estaciones a los alrededores del área de estudio, pero 5 de ellas se encuentran suspendidas, las dos restantes que se encuentran en operación son la Chihuahua QJICH con clave 8147 la cual está a tres kilómetros de distancia aproximadamente de la zona de estudio y La mesa con clave CO8270 esta estación se localiza aproximadamente a once kilómetros de distancia, por esta razón se tomaron los datos de la estación Chihuahua que se encuentra más cerca a el área para realizar tres histogramas en relación a la evaporación, la precipitación y la temperatura en el área con el fin de percibir de manera general la evolución de estos factores en un período desde 1983 a 2016, debo mencionar que los datos para el año 2016 no se encuentran completos, es decir los 12 meses por lo que el análisis de este año se debe de tomar con reserva, todos los datos fueron obtenidos de la base de datos de la CONAGUA (Ver tabla 2 evaporación, precipitación y temperaturas anuales, ver figura 9 histograma evaporación, ver figura 10 histograma precipitación, ver figura 11 histograma temperatura, ver figura 8 para ver la ubicación de las estaciones climáticas).

Tabla 2.- Evaporación, precipitación y temperaturas anuales.

Estación Chihuahua Clave 8147					
Evaporación (Acu)(mm)		Precipitación (Acu)(mm)		Temperatura media °C	
1983	108.92	1983	29.36	1983	17.93
1984	160.79	1984	33.32	1984	17.93
1985	124.34	1985	29.50	1985	18.13
1986	148.07	1986	55.74	1986	18.16
1987	144.01	1987	53.27	1987	18.04
1988	153.78	1988	21.74	1988	19.12
1989	148.89	1989	19.98	1989	20.03
1990	145.90	1990	40.57	1990	16.76
1991	145.05	1991	38.89	1991	18.53
1992	95.04	1992	38.42	1992	17.88
1993	147.75	1993	20.07	1993	18.89
1994	170.52	1994	14.07	1994	19.80
1995	169.65	1995	27.97	1995	19.82
1996	158.40	1996	41.72	1996	19.28
1997	164.01	1997	36.64	1997	18.61
1998	186.22	1998	28.54	1998	19.70
1999	174.10	1999	33.12	1999	19.26
2000	179.14	2000	42.01	2000	19.43
2001	167.11	2001	22.43	2001	19.15
2002	165.29	2002	41.27	2002	19.44
2003	164.73	2003	28.51	2003	19.79
2004	178.64	2004	53.35	2004	19.10
2005	196.49	2005	35.99	2005	20.08
2006	189.89	2006	26.54	2006	20.27
2007	201.16	2007	24.83	2007	19.14
2008	187.26	2008	40.74	2008	19.43
2009	174.99	2009	26.35	2009	19.43
2010	193.21	2010	40.68	2010	18.74
2011	234.46	2011	15.03	2011	20.08
2012	220.65	2012	28.73	2012	19.58
2013	199.61	2013	46.83	2013	18.52
2014	168.29	2014	33.26	2014	19.92
2015	178.88	2015	31.03	2015	19.82
2016	83.53	2016	0.00	2016	10.40

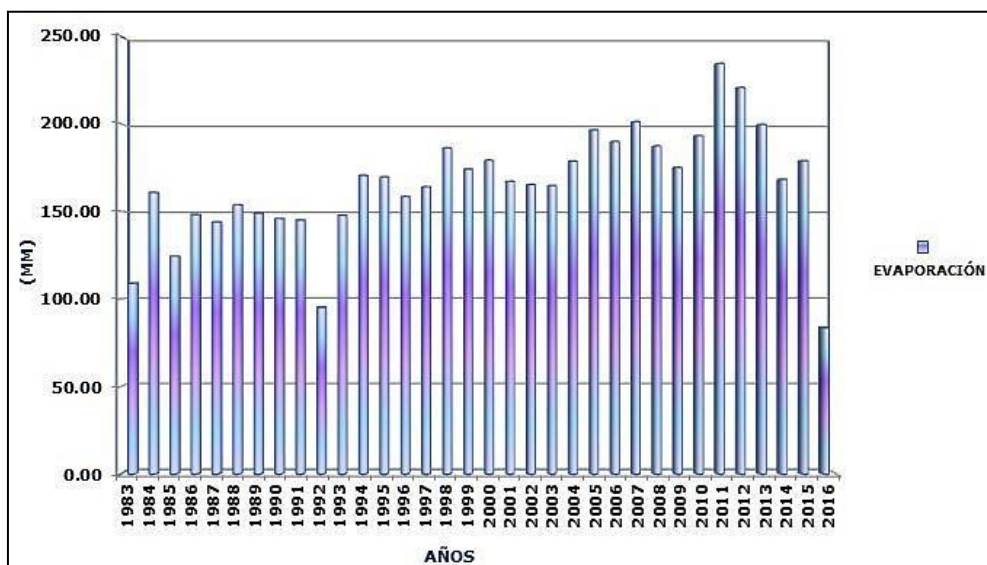


Figura 9.- Histograma de evaporación

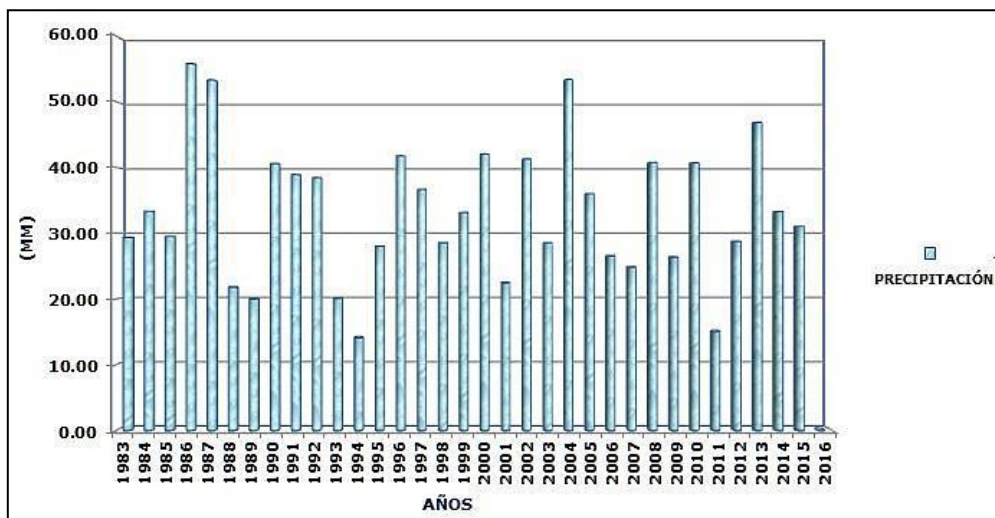


Figura 10.- Histograma de precipitación

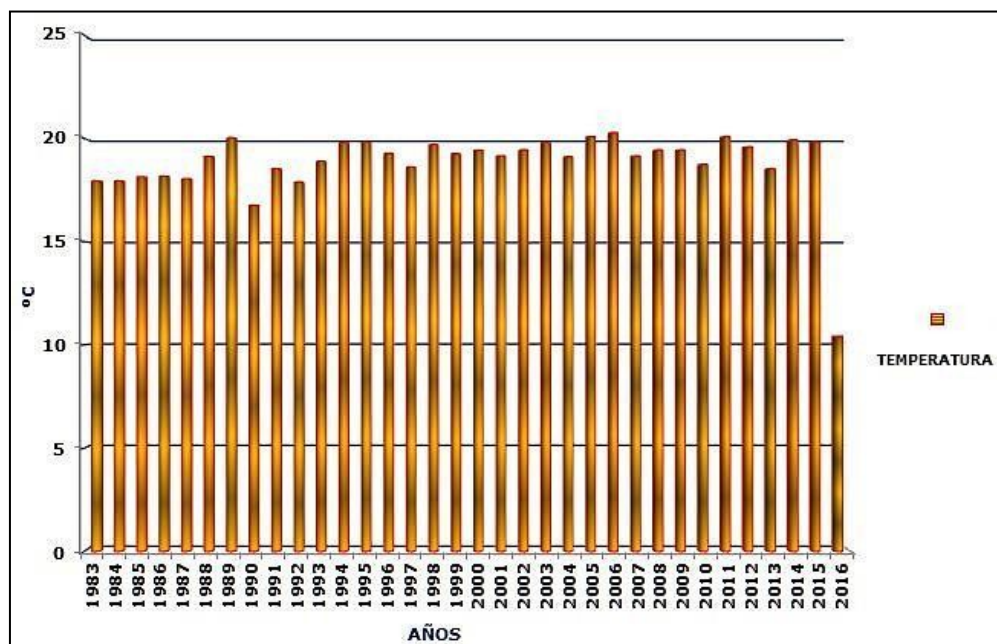


Figura 11.- Histograma de temperatura

3.7 EDAFOLOGÍA

El conocer la edafología de un lugar nos permite entender las características físicas, químicas y morfológicas del mismo, con lo cual conociendo el tipo de suelo se puede determinar su uso adecuado. Dentro de los límites de acuífero se encuentran varios tipos de suelos tomando como base la información del INEGI, 2004 (Ver figura 12 plano edafológico).

3.7.1 LEPTOSOLES

Este tipo de suelo es el más abundante dentro de los límites del acuífero y una de sus características es que son suelos muy poco profundos, usualmente no tienen más de 25 centímetros de profundidad. Estos suelos a veces pueden ser buenos para la agricultura pero en ocasiones debido a su poca profundidad los convierte en suelos áridos, además su contenidos de calcio no permite actuar los nutrientes de los minerales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.2 CHERNOZEM

En cuestión de extensión superficial sería el segundo más grande dentro de los límites del acuífero, en cuanto al el área de estudio en específico este tipo de suelo se presenta hacia el noroeste de la circunferencia que delimita el área de estudio. Este tipo de suelo se refiere a tierra negra que en condiciones normales o naturales presenta una vegetación de tipo pastizal, estos suelos tienen 80 centímetros de espesor por lo menos y presenta una capa superior de color negro la cual está compuesta por materia orgánica y caliche, el suelo es moderadamente susceptible a la erosión. Este tipo de suelo se puede

utilizar para la ganadería como lugar de pastoreo, en la agricultura permite el cultivo de oleaginosas, granos y hortalizas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.3 CAMBISOL

Estos suelos están poco desarrollados ya que son suelos jóvenes, se pueden encontrar en casi en cualquier zona exceptuando las áridas, además el tipo de vegetación que puede presentarse en este suelo es muy variada y depende del clima en el que se encuentre, por lo que se puede destinar a varios usos y presentan una erosión de moderada a alta. Una característica principal de este tipo es la presencia de terrones en una capa del subsuelo que hacen referencia a la roca subyacente que a su vez puede presentar porciones de arcilla, manganeso, carbonatos de calcio y hierro (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.4 PHAEZEM

También Feozem se trata de una tierra parda, la cual se puede presentar casi en cualquier tipo de clima con excepción de las regiones desérticas o tropicales lluviosas. Es similar al Chernozem pues presenta una capa oscura rica en materia orgánica pero esta no presenta caliche. La profundidad de estos suelos es muy variable y de esta depende el uso que se les dé, por ejemplo si es profundo lo cual se da generalmente en terrenos planos entonces este se utiliza para la agricultura de granos, legumbres y hortalizas; por otra parte si se trata de poca profundidad los cuales usualmente se presentan en pendientes o laderas, se utilizan para el pastoreo y se erosionan con facilidad. Este tipo de suelo está presente dentro de los límites de la circunferencia que delimita el área de estudio, abarcando la zona sureste de la misma (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.5 REGOSOL

Este tipo de suelo se trata de un material suelto que cubre la roca, es variado donde se puede encontrar este tipo de suelo, ya que varía en el clima, la vegetación y el relieve. Son suelos que tienen poca profundidad pues son poco desarrollados y de esto dependerá su productividad o fertilidad, por último su coloración es clara pues no presentan materia orgánica (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.6 CALCISOL

Este tipo de suelos se encuentra comúnmente en zonas secas, este tipo de suelo no presenta materia orgánica por lo cual no es de coloración oscura. Debido a que este tipo de suelo presenta poca infiltración y si una fuerte evaporación ocasiona que la poca agua contenida propicie la acumulación de sales y carbonatos en la superficie, por todo lo anterior son suelo no aptos para utilizarlos para la agricultura (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

3.7.7 FLUVISOL

Este tipo se refiere de forma literal a suelo de río por estar conformados por materiales acarreados por el agua, son medianamente profundos, son poco desarrollados y su estructura es débil, por último este tipo de suelos se pueden encontrar en todos los climas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004).

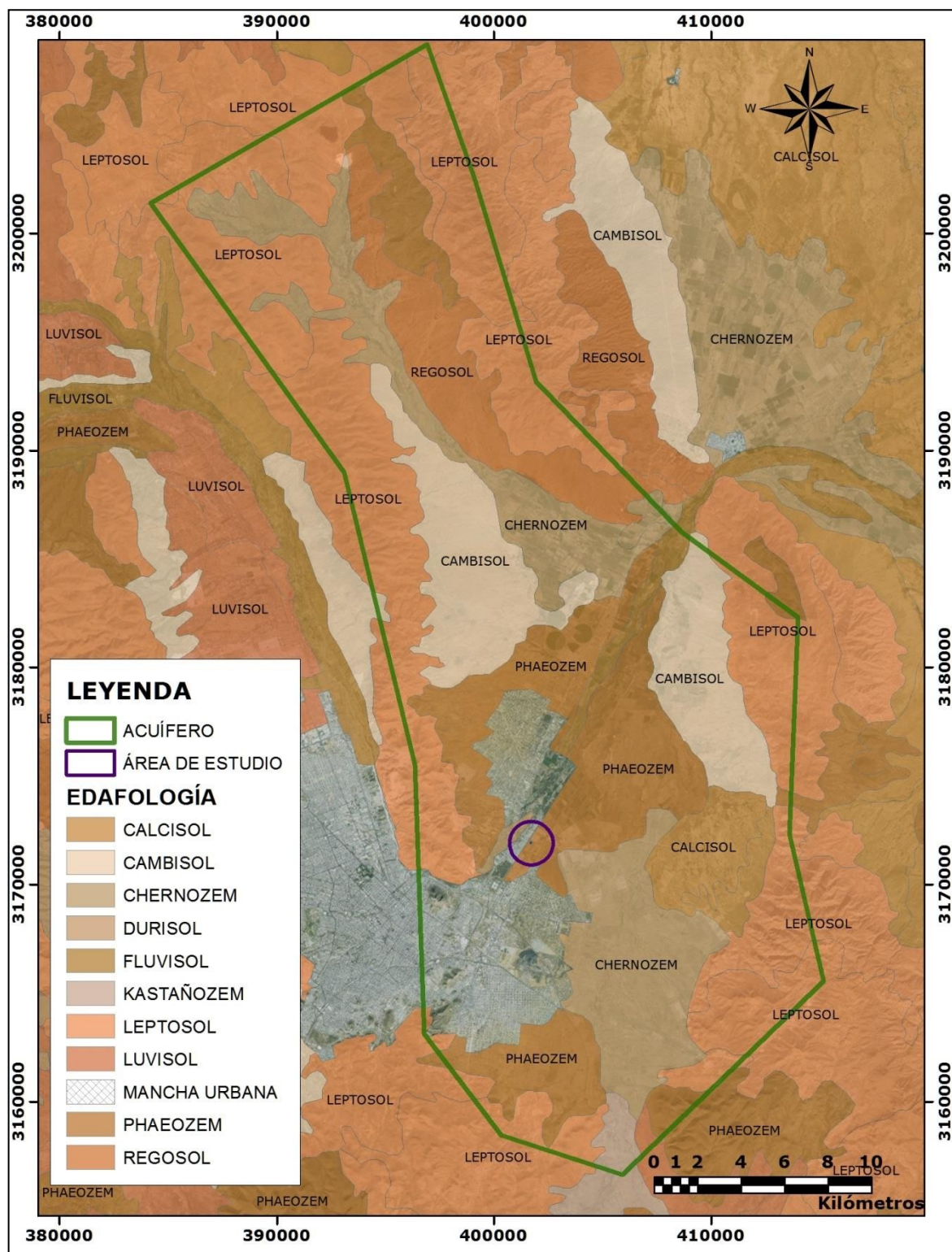


Figura 12.- Plano de Edafología

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

Fue necesario realizar primero un análisis del área, para determinar la factibilidad de la realización de los sondeos eléctricos verticales, así como la cantidad necesaria de estos para cubrir la zona. A esto le siguió un recorrido de campo, que permitiera identificar posibles complicaciones, debido a que la zona de estudio se encuentra en de la ciudad de Chihuahua y se puede localizar dentro del área de la circunferencia en específico, pequeñas zonas urbanizadas, algunas viviendas, calles pavimentadas, cableados eléctricos, tuberías, etc. Es importante analizar estos factores, ya que pueden representar al momento de definir las líneas geoeléctricas, una limitante o restricción, teniendo en consecuencia, poca fiabilidad en el desempeño de las lecturas obtenidas en los sondeos

4.1 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los métodos geofísicos son una herramienta importante, estos permiten identificar diversas formaciones geológicas encontradas en el subsuelo, tales como, depósitos minerales, acuíferos, estructuras geológicas, estratigrafía, entre otras, esto ocurre al medir algún parámetro físico que permita identificar la formación.

Dentro de los métodos geofísicos existe una gran variedad, están los potenciales de los cuales podemos mencionar la gravimetría y la magnetometría; los acústicos como los sísmicos de reflexión y de refracción; los electromagnéticos de dominio de tiempo y dominio de frecuencia y finalmente los métodos eléctricos los cuales se dividen en campo natural y artificial (Álvarez & Aceves, 2003) (Ver figura 13 clasificaciones de los métodos geofísicos, elaborado por el autor basado en la información de Álvarez & Aceves, 2003).

Los métodos eléctricos artificiales son una herramienta principal para la localización del agua subterránea dentro de los cuales el más utilizados son los sondeos eléctricos verticales (SEV).

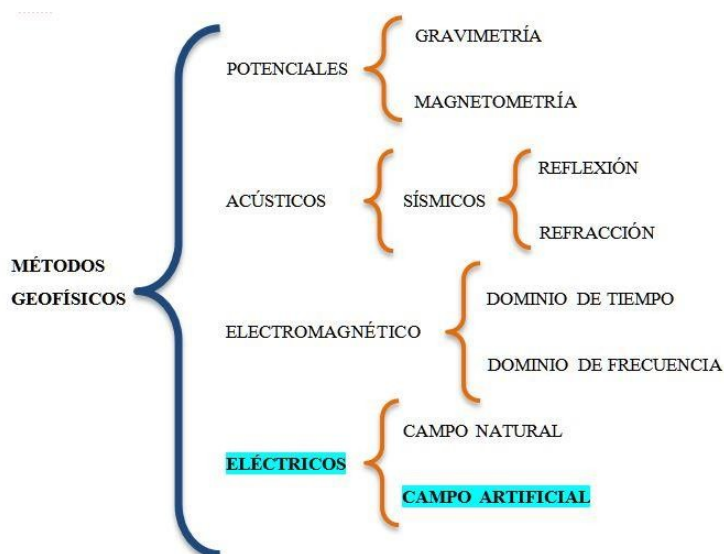


Fig. 13.- Clasificación de los métodos geofísicos basado en la información de Álvarez, 2003

4.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Este método se ha convertido en uno de los más utilizados debido a su rapidez, además de que económicamente es más accesible.

Este método consiste en la inyección de una corriente eléctrica en el terreno a través de dos varillas de acero inoxidable que se clavan en el suelo las cuales se denominan electrodos A y B o de corriente, con esta inyección se crea un campo eléctrico artificial y mediante otras dos varillas que fungirán como los electrodos llamados M y N o de

potencial se puede medir la diferencia de potencial. (Ver figura 14 sondeo eléctrico vertical).

Los sondeos eléctricos verticales tienen la función de permitir conocer cuántas capas existen en el subsuelo, al poder determinar cuántas variaciones de la resistividad presenta.

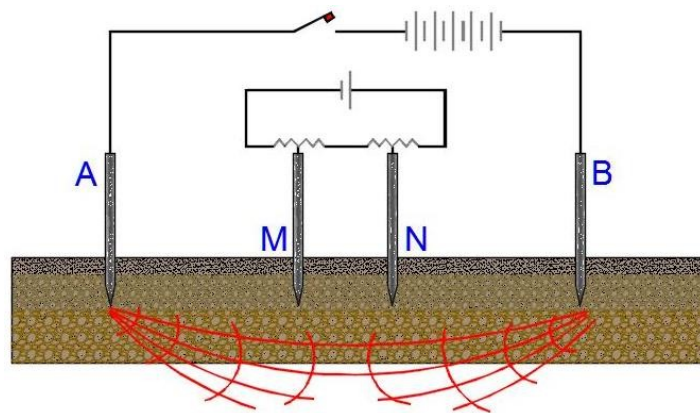


Figura 14.- Esquema idealizado de un SEV elaborado por el autor basado en figuras de Reyes, 2009

Existen varias configuraciones electródicas, las cuales tienen distintas características y se ajustan de manera diferente según el objetivo buscado, en esta investigación se utilizaron dos arreglos, Schlumberger y el Wenner.

4.3 ARREGLO SCHLUMBERGER

Este arreglo es uno de los más utilizados ya que tiene ciertas ventajas, como que la profundidad que alcanza el estudio es mayor a comparación a otros arreglos electródicos, además que de cierta manera requiere menos movimientos de los electrodos M y N por lo que son relativamente más rápidos en este sentido aunque la apertura de los electrodos A y B sea mayor, cabe mencionar que cada vez que existe una abertura de los electrodos de potencial este cambio inicia con una relación de uno a cinco con respecto a los electrodos de corriente, con esto quiero decir que cada vez que se abran los electrodos M y N se hace a una relación de $AB/5$ al momento del cambio.

En las figuras y tabla siguientes se muestra como sería la apertura de dichos electrodos, así como el paralelepípedo formado por el rango de influencia. (Ver figura 15 arreglo electródico Schlumberger, ver figura 16 paralelepípedo afectado por el arreglo, ver tabla 3 distribución electródica Schlumberger).

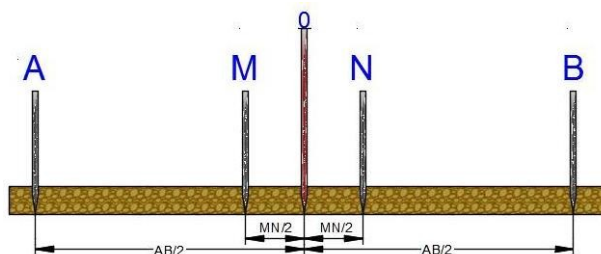


Figura 15.- Arreglo electródico Schlumberger

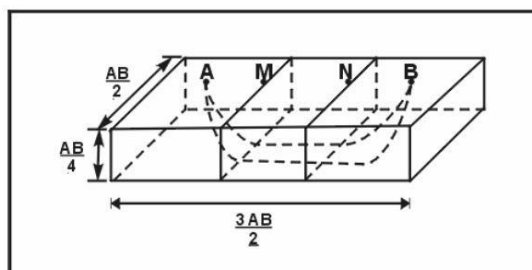


Figura 16.- Paralelepípedo afectado por el arreglo Schlumberger (Auge, 2008).

Tabla 3.- Distribución electródica en metros utilizada para arreglo Schlumberger.

$AB/2$	$MN/2$		$AB/2$	$MN/2$
1.6	0.32		32	3.2
2	0.32		40	3.2
2.5	0.32		50	3.2
3.2	0.32		50	10
4	0.32		63	10
5	0.32		63	3.2
5	1		80	10
6.3	1		100	10
6.3	0.32		130	10
8	1		160	10
10	1		160	32
13	1		200	32
16	1		200	10
16	3.2		250	32
20	3.2		320	32
20	1		400	32
25	3.2		500	32

4.4 ARREGLO WENNER

Este arreglo electródico también es muy utilizado, sobre todo si requiere gran detalle de los primeros metros del subsuelo, ya que es poca la profundidad de exploración que alcanza, este arreglo es simétrico y siempre mantiene el espaciamiento en relación de 1/3 del total de AB.

Magallanes (2014), propuso una distribución electródica para el área específica donde se encuentra la balsa de infiltración, por lo cual se utilizó la misma distribución para este tipo de arreglo.

En la siguiente figura 17 se muestra el arreglo electródico Wenner y en la tabla 4 dicha distribución electródica.

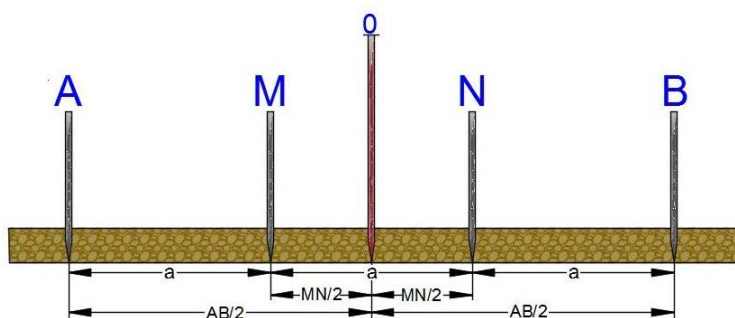


Fig 17.- Arreglo electródico Wenner.

Tabla 4.- Arreglo Wenner adaptado para la Planta de tratamiento sur (Magallanes, 2014).

No.	MN/2	AB/2	a	Prof. aprox (m)
1	0.2	0.6	0.4	0.2
2	0.5	1.5	1	0.5
3	0.8	2.4	1.6	0.8
4	1.2	3.6	2.4	1.2
5	1.8	5.4	3.6	1.8
6	2.2	6.6	4.4	2.2
7	2.9	8.7	5.8	2.9
8	3.4	10.2	6.8	3.4
9	3.9	11.7	7.8	3.9
10	4.4	13.2	8.8	4.4
11	4.9	14.7	9.8	4.9
12	5.4	16.2	10.8	5.4
13	8	24	16	8
14	10	30	20	10
15	14	42	28	14
16	20	60	40	20
17	25	75	50	25
18	30	90	60	30
19	35	105	70	35
20	40	120	80	40
21	45	135	90	45
22	50	150	100	50
23	60	180	120	60
24	75	225	150	75
25	105	315	210	105

4.5 TRABAJO DE CAMPO E INTERPRETACIÓN

4.5.1 RECORRIDO PREVIO

Para ejecutar el trabajo de campo es decir realizar los sondeos eléctricos verticales, fue necesario primero realizar varios recorridos a la zona, para analizar y conocer el área de 1 km de radio comprendida alrededor de la balsa de infiltración; ubicar los lugares donde se podrían realizar las lecturas, hablar con los propietarios para los respectivos permisos todo esto en consecuencia de obtener la mejor distribución de los sondeos.

4.5.2 EJECUCIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Para esta investigación se realizaron 9 sondeos verticales, de los cuales 7 fueron con un arreglo electródico de tipo Schlumberger y los dos restantes por el arreglo Wenner (Ver figura 18 con la distribución de los SEV's). El equipo utilizado para llevar acabo estos sondeos fue un Syscal Junior de la marca Iris instruments. (Ver figura 19 equipo utilizado, ver figura 20 trabajos de campo).

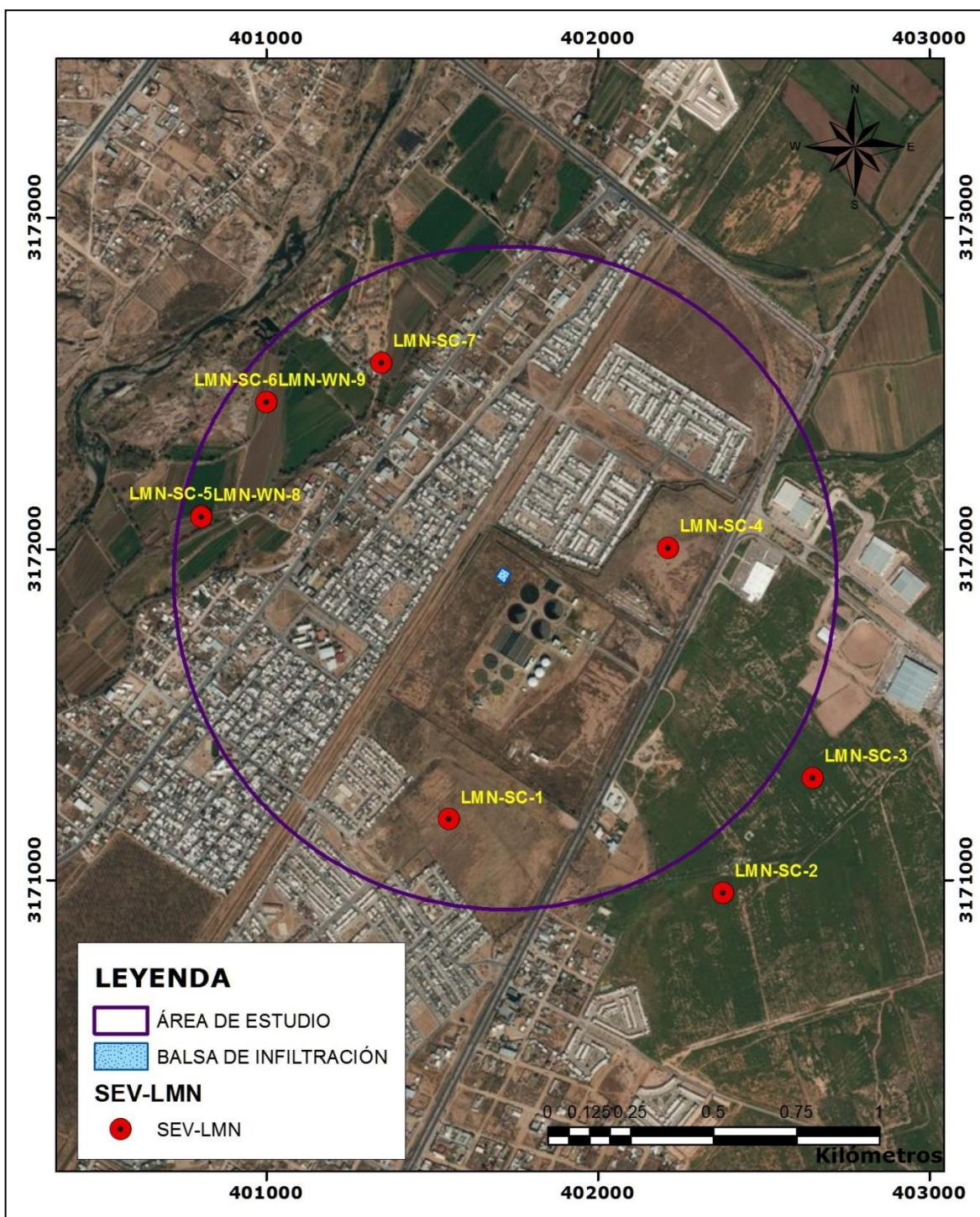


Figura 18.- Distribución de los SEV's realizados en el área de estudio.



Figura 19.- Equipo Syscal Junior.



Figura 20.- Trabajo de campo.

4.5.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Con el fin de obtener un modelo geoelectrico basado en una buena base de información se recopiló datos resistivos de sondeos hechos anteriormente en el área, para ser sumados a los nueve sondeos realizados.

Se obtuvieron los datos resistivos de otros tres sondeos con el arreglo Schlumberger que se encuentran dentro del área, estos fueron proporcionados por la Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS) para su reinterpretación, dichos SEV's se llevaron a cabo en el año 2013.

Por último se tomaron los datos resistivos de 7 sondeos con el arreglo electródico Wenner del trabajo “Exploración geoelectrica adaptada para la caracterización física del lecho filtrante en proyecto de recarga subsuperficial planta sur, Chihuahua Chih.” Por Magallanes (2014).

En total se tomaron en cuenta 19 sondeos eléctricos verticales para realizar el modelo geoelectrico. (Ver figura 21 con la distribución de todos los sondeos).

Toda la información obtenida fue procesada con el programa WinSev 6.4 de W-GeoSoft, programa que permite trabajar con las resistividades y manejar tres tipos de arreglos electródicos Schlumberger, Wenner y dipolo-dipolo que en este caso se trabajaron solo con los primeros dos arreglos, a su vez se puede obtener la curva al graficarlas automáticamente en hojas logarítmicas teniendo control de los segmentos litológicos pudiendo crear hasta 20 capas, así como manejar el sistema de coordenadas deseado, donde en este caso se utilizó el WGS84, además se pueden obtener perfiles geoelectricos a fin de poder crear perfiles con los mismos.

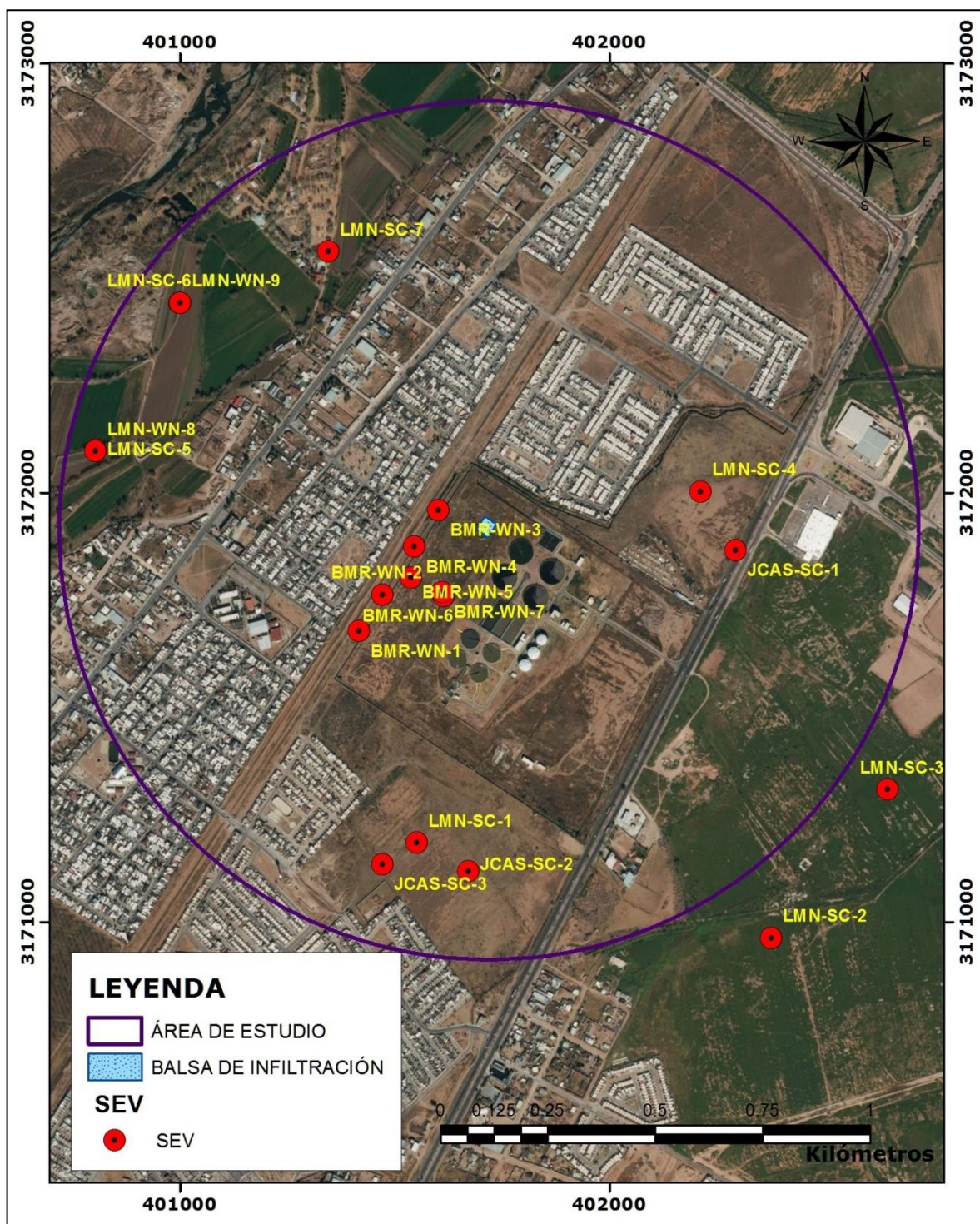


Figura 21.- Distribución de los 19 SEV's.

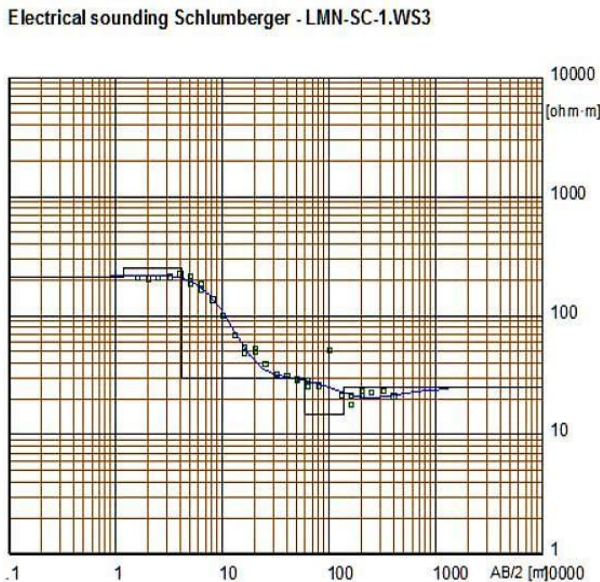
4.5.4 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES PROCESADOS

Primero se presentan los sondeos realizados para esta investigación, los cuales presentan una nomenclatura LMN seguido de SC o WN para indicar el arreglo eléctrico Schlumberger o Wenner respectivamente.

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-1.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	210
.32	2	0	0	0	207
.32	2.5	0	0	0	212
.32	3.2	0	0	0	213
.32	4	0	0	0	226
.32	5	0	0	0	218
1	5	0	0	0	186
1	6.3	0	0	0	166
.32	6.3	0	0	0	187
1	8	0	0	0	138
1	10	0	0	0	101
1	13	0	0	0	68.9
1	16	0	0	0	48.8
3.2	16	0	0	0	54.8
3.2	20	0	0	0	50.2
1	20	0	0	0	53.5
3.2	25	0	0	0	39.5
3.2	32	0	0	0	32.8
3.2	40	0	0	0	31.4
3.2	50	0	0	0	29.2
10	50	0	0	0	29.9
10	63	0	0	0	28.4
3.2	63	0	0	0	26.2
10	80	0	0	0	26.1
10	100	0	0	0	51.4
10	130	0	0	0	21.8
10	160	0	0	0	18.2
32	160	0	0	0	21.6
32	200	0	0	0	21.6
10	200	0	0	0	23.4
32	250	0	0	0	22.7
32	320	0	0	0	23.4
32	400	0	0	0	21.3



Location X = 401553 Y = 3171185

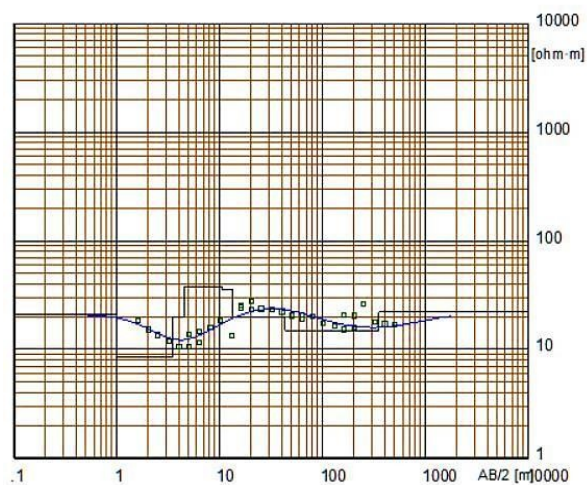
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	212	1.2	
	252	3	1.2
	30	55	4.2
	15	80	59
	25		139

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-2.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	18.6
.32	2	0	0	0	15.4
.32	2.5	0	0	0	13.8
.32	3.2	0	0	0	12
.32	4	0	0	0	10.7
.32	5	0	0	0	10.7
1	5	0	0	0	14
1	6.3	0	0	0	14.9
.32	6.3	0	0	0	11.7
1	8	0	0	0	16.2
1	10	0	0	0	18.8
1	13	0	0	0	13.5
1	16	0	0	0	25.5
3.2	16	0	0	0	24.7
3.2	20	0	0	0	23.5
1	20	0	0	0	27.9
3.2	25	0	0	0	24
3.2	32	0	0	0	23.4
3.2	40	0	0	0	22.5
3.2	50	0	0	0	20.6
10	50	0	0	0	21.1
10	63	0	0	0	19.4
3.2	63	0	0	0	20.8
10	80	0	0	0	20.4
10	100	0	0	0	17.7
10	130	0	0	0	16.5
10	160	0	0	0	15.4
32	160	0	0	0	20.8
32	200	0	0	0	20.7
10	200	0	0	0	16.2
32	250	0	0	0	26.6
32	320	0	0	0	18.3
32	400	0	0	0	17.3
32	500	0	0	0	17

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-2.WS3



Location X = 402379 Y = 3170963

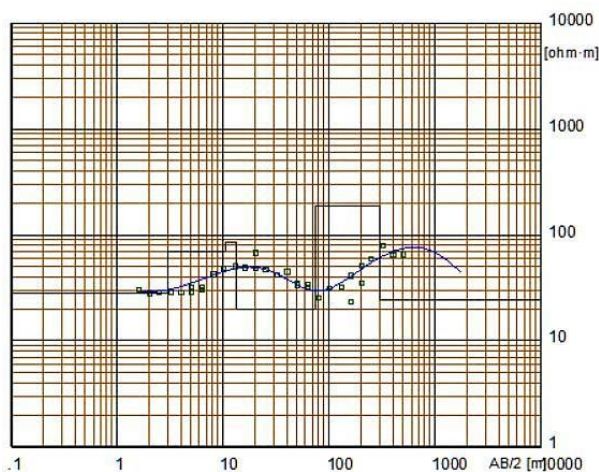
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	21	1	
	8.5	2.5	1
	20	1	3.5
	38	6	4.5
	35	3	10
	20	30	13
	15	308	43
	22		351

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-3.WS3

Field data and calculated values

MN/2 [m]	AB/2 [m]	DeltaV [mV]	I [mA]	K [-]	Resistivity [ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	30.7
.32	2	0	0	0	28.4
.32	2.5	0	0	0	28.7
.32	3.2	0	0	0	29.2
.32	4	0	0	0	28.8
.32	5	0	0	0	32.8
1	5	0	0	0	28.8
1	6.3	0	0	0	32.2
.32	6.3	0	0	0	30.8
1	8	0	0	0	43
1	10	0	0	0	48.5
1	13	0	0	0	51.3
1	16	0	0	0	49.8
3.2	16	0	0	0	49.3
3.2	20	0	0	0	48.6
1	20	0	0	0	68.3
3.2	25	0	0	0	47.5
3.2	32	0	0	0	42
3.2	40	0	0	0	45.4
3.2	50	0	0	0	35.8
10	50	0	0	0	34.1
10	63	0	0	0	32.4
3.2	63	0	0	0	34.5
10	80	0	0	0	26
10	100	0	0	0	31.7
10	130	0	0	0	32.4
10	160	0	0	0	41.8
32	160	0	0	0	23.6
32	200	0	0	0	35.2
10	200	0	0	0	51.8
32	250	0	0	0	60.2
32	320	0	0	0	79.6
32	400	0	0	0	65.3
32	500	0	0	0	66.3

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-3.WS3



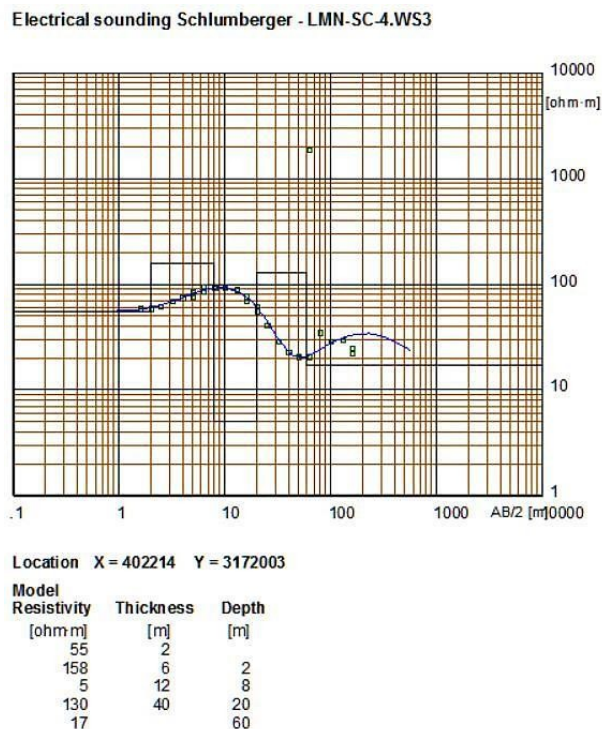
Location X = 402650 Y = 3171309

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	28	2	2
	28	1	3
	70	7.5	10
	85	3	13
	20	60	73
	190	231	304
	24		

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-4.WS3

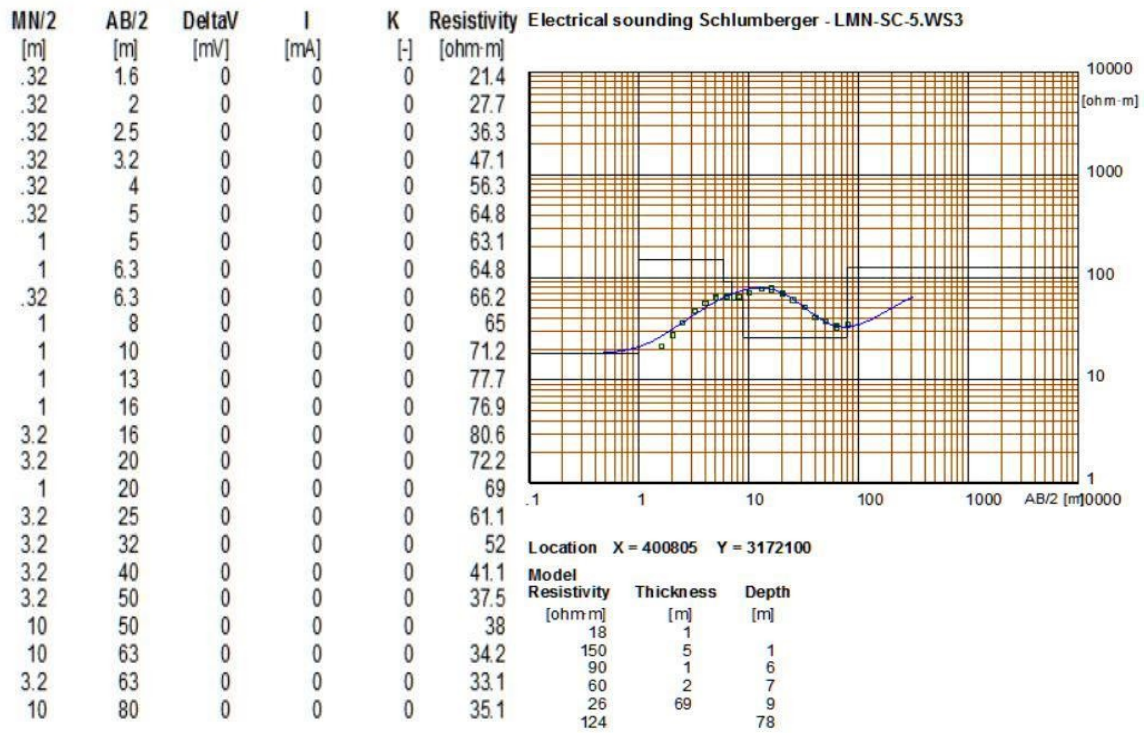
Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	59.2
.32	2	0	0	0	59
.32	2.5	0	0	0	62.3
.32	3.2	0	0	0	69
.32	4	0	0	0	74.5
.32	5	0	0	0	85.1
1	5	0	0	0	75.4
1	6.3	0	0	0	85.2
.32	6.3	0	0	0	96.3
1	8	0	0	0	92.1
1	10	0	0	0	93.3
1	13	0	0	0	88.8
1	16	0	0	0	77.1
3.2	16	0	0	0	69.7
3.2	20	0	0	0	56
1	20	0	0	0	61.6
3.2	25	0	0	0	41.4
3.2	32	0	0	0	29.1
3.2	40	0	0	0	22.9
3.2	50	0	0	0	20.2
10	50	0	0	0	20.7
10	63	0	0	0	20.6
3.2	63	0	0	0	1849
10	80	0	0	0	35.1
10	100	0	0	0	29
10	130	0	0	0	29.5
10	160	0	0	0	24.7
32	160	0	0	0	22.5



Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-5.WS3

Field data and calculated values

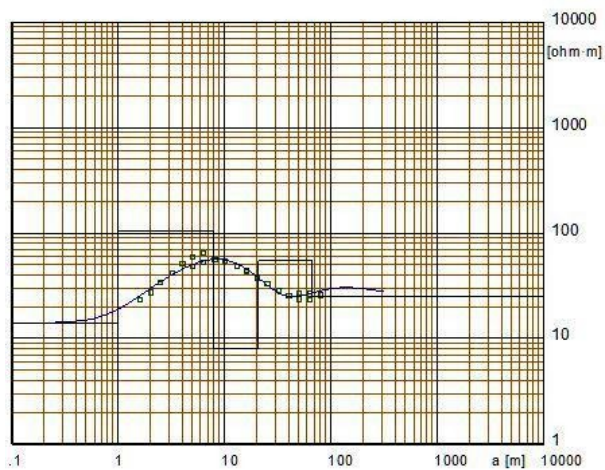


Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-6.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	23.6
.32	2	0	0	0	27.8
.32	2.5	0	0	0	34.2
.32	3.2	0	0	0	42.5
.32	4	0	0	0	51.7
.32	5	0	0	0	60.4
1	5	0	0	0	49
1	6.3	0	0	0	53.5
.32	6.3	0	0	0	65.6
1	8	0	0	0	57
1	10	0	0	0	55.3
1	13	0	0	0	48.7
1	16	0	0	0	43.8
3.2	16	0	0	0	44.6
3.2	20	0	0	0	38.6
1	20	0	0	0	38
3.2	25	0	0	0	33.8
3.2	32	0	0	0	28.7
3.2	40	0	0	0	25.8
3.2	50	0	0	0	24
10	50	0	0	0	27.5
10	63	0	0	0	26.8
3.2	63	0	0	0	23.7
10	80	0	0	0	26.1

Electrical sounding Wenner - LMN-SC-6.WS3



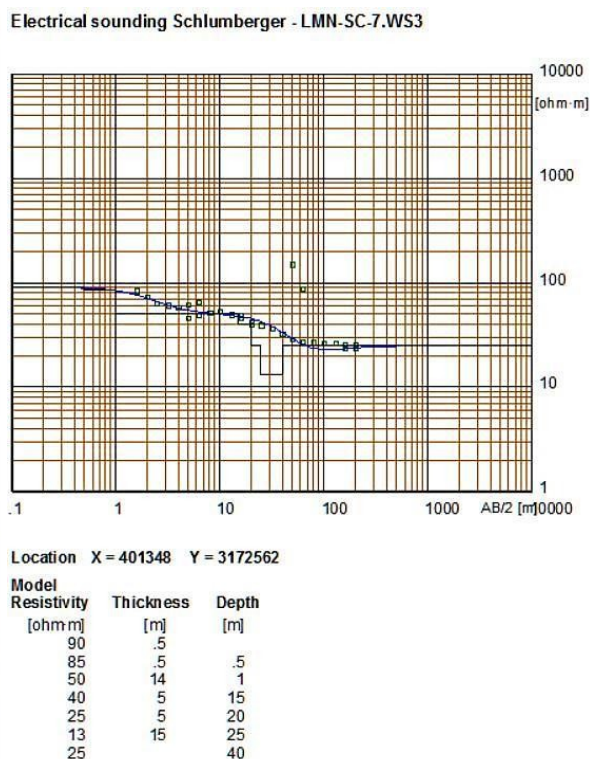
Location X = 401001 Y = 3172100

Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm-m]	[m]	[m]
14	1	
105	7	1
8	13	8
55	45	21
25		66

Electrical sounding Schlumberger - LMN-SC-7.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	83.8
.32	2	0	0	0	72.9
.32	2.5	0	0	0	64.2
.32	3.2	0	0	0	60.7
.32	4	0	0	0	58.8
.32	5	0	0	0	61.8
1	5	0	0	0	46
1	6.3	0	0	0	48.8
.32	6.3	0	0	0	65.2
1	8	0	0	0	52.3
1	10	0	0	0	53.9
1	13	0	0	0	49.7
1	16	0	0	0	46
3.2	16	0	0	0	48.7
3.2	20	0	0	0	42.3
1	20	0	0	0	40.2
3.2	25	0	0	0	39.4
3.2	32	0	0	0	36.3
3.2	40	0	0	0	32.8
3.2	50	0	0	0	29
10	50	0	0	0	151
10	63	0	0	0	87.9
3.2	63	0	0	0	27.5
10	80	0	0	0	26.8
10	100	0	0	0	26.4
10	130	0	0	0	26.4
10	160	0	0	0	25.4
32	160	0	0	0	23.7
32	200	0	0	0	23.9
10	200	0	0	0	25.7

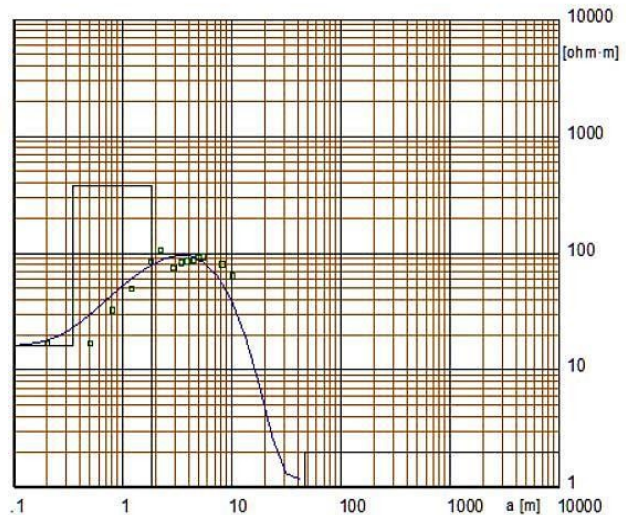


Electrical sounding Wenner - LMN-WN-8.WS3

Electrical sounding Wenner - LMN-WN-8.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	17.2
.5	0	0	0	17.1
.8	0	0	0	33
1.2	0	0	0	50.1
1.8	0	0	0	84.5
2.2	0	0	0	107
2.9	0	0	0	76.2
3.4	0	0	0	83.6
3.9	0	0	0	86.1
4.4	0	0	0	89.1
4.9	0	0	0	93.3
5.4	0	0	0	94.2
8	0	0	0	81.3
10	0	0	0	64.7



Location X = 400805 Y = 3172097

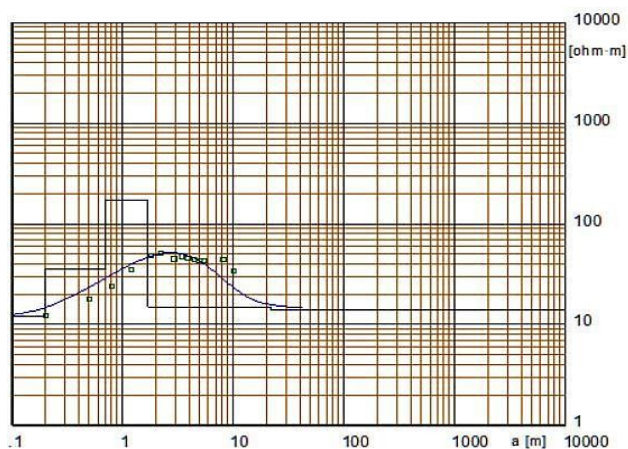
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
1	16	.35	
2	376	1.5	.35
3	1	45	1.8
4	2		47

Electrical sounding Wenner - LMN-WN-9.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	12.5
.5	0	0	0	18
.8	0	0	0	24.5
1.2	0	0	0	35.7
1.8	0	0	0	49.2
2.2	0	0	0	51.8
2.9	0	0	0	45.3
3.4	0	0	0	48.3
3.9	0	0	0	46.1
4.4	0	0	0	44.7
4.9	0	0	0	43.8
5.4	0	0	0	43.9
8	0	0	0	44.6
10	0	0	0	34.2

Electrical sounding Wenner - LMN-WN-9.WS3



Location X = 401002 Y = 3172443

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	12	.2	
	35	.5	.2
	170	1	.7
	15	20	1.7
	14		22

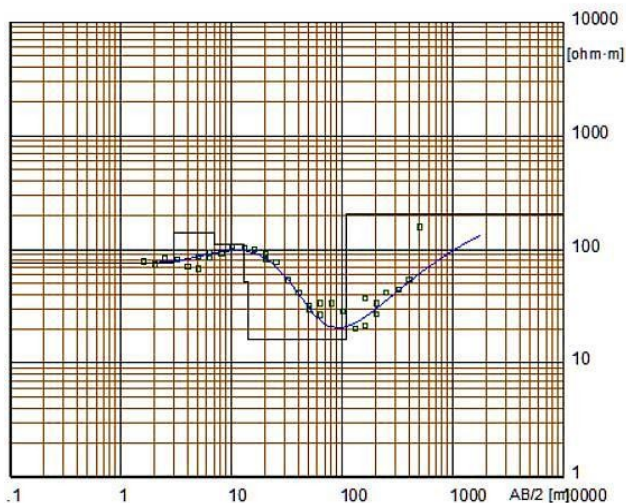
Los datos resistivos de los siguientes tres sondeos son los proporcionados por la JCAS, tienen el arreglo Schlumberger y han sido reprocesados y reinterpretados para esta investigación, presentan la nomenclatura JCAS seguido de SC referente al tipo de arreglo.

Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-1.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm·m]
.32	1.6	0	0	0	79.4
.32	2	0	0	0	74.4
.32	2.5	0	0	0	84
.32	3.2	0	0	0	82.2
.32	4	0	0	0	70.8
.32	5	0	0	0	68.4
1	5	0	0	0	87.5
1	6.3	0	0	0	85
.32	6.3	0	0	0	94.9
1	8	0	0	0	93.6
1	10	0	0	0	108
1	13	0	0	0	104
1	16	0	0	0	101
3.2	16	0	0	0	102
3.2	20	0	0	0	93.4
1	20	0	0	0	83.3
3.2	25	0	0	0	78.2
3.2	32	0	0	0	54
3.2	40	0	0	0	42.3
3.2	50	0	0	0	32.4
10	50	0	0	0	30.2
10	63	0	0	0	27
3.2	63	0	0	0	33.9
10	80	0	0	0	34
10	100	0	0	0	29.1
10	130	0	0	0	20.2
10	160	0	0	0	21.4
32	160	0	0	0	37.6
32	200	0	0	0	33.9
10	200	0	0	0	27.5
32	250	0	0	0	42.5
32	320	0	0	0	45.2
32	400	0	0	0	55.5
32	500	0	0	0	159

Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-1.WS3



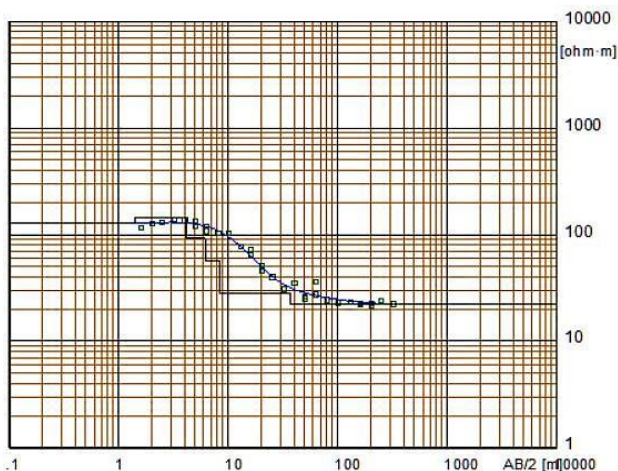
Location X = 402295 Y = 3171867

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm·m]	[m]	[m]
	75	3	
	140	4	3
	110	6	7
	52	1	13
	16	95	14
	205		109

Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-2.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity	Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-2.WS3		
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]			
.32	1.6	0	0	0	118			
.32	2	0	0	0	129			
.32	2.5	0	0	0	132			
.32	3.2	0	0	0	138			
.32	4	0	0	0	138			
.32	5	0	0	0	135			
1	5	0	0	0	123			
1	6.3	0	0	0	109			
.32	6.3	0	0	0	120			
1	8	0	0	0	104			
1	10	0	0	0	104			
1	13	0	0	0	78.6			
1	16	0	0	0	65.6			
3.2	16	0	0	0	72.4			
3.2	20	0	0	0	51.9			
1	20	0	0	0	46.1			
3.2	25	0	0	0	40.4			
3.2	32	0	0	0	31.2			
3.2	40	0	0	0	35.6			
3.2	50	0	0	0	26.6			
10	50	0	0	0	25.4			
10	63	0	0	0	27.8			
3.2	63	0	0	0	36.4			
10	80	0	0	0	24.7			
10	100	0	0	0	23.3			
10	130	0	0	0	23.4			
10	160	0	0	0	22.5			
32	160	0	0	0	22.8			
32	200	0	0	0	22.7			
10	200	0	0	0	21.4			
32	250	0	0	0	24.5			
32	320	0	0	0	22.5			



Location X = 401673 Y = 3171118

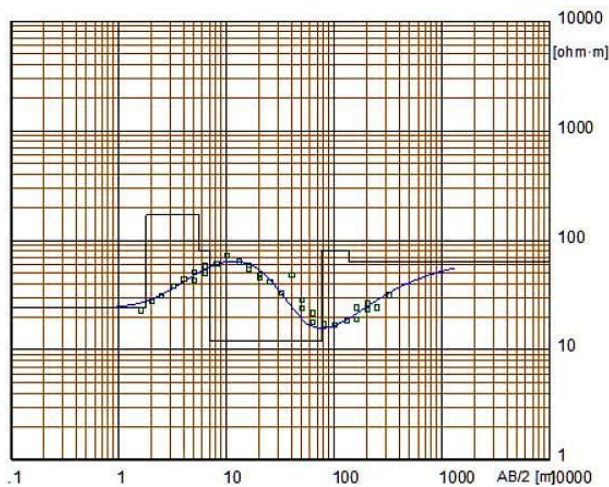
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	127	1.4	
	144	2.8	1.4
	92	2	4.2
	56	2.3	6.2
	28	29	8.5
	22		38

Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-3.WS3

Field data and calculated values

MN/2	AB/2	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.32	1.6	0	0	0	23.2
.32	2	0	0	0	28.1
.32	2.5	0	0	0	31.8
.32	3.2	0	0	0	38.5
.32	4	0	0	0	44.9
.32	5	0	0	0	52.3
1	5	0	0	0	43.5
1	6.3	0	0	0	51.1
.32	6.3	0	0	0	59.1
1	8	0	0	0	61.9
1	10	0	0	0	73.4
1	13	0	0	0	64.4
1	16	0	0	0	59.6
3.2	16	0	0	0	55.1
3.2	20	0	0	0	46.3
1	20	0	0	0	49.4
3.2	25	0	0	0	42.2
3.2	32	0	0	0	33.2
3.2	40	0	0	0	48.9
3.2	50	0	0	0	29.2
10	50	0	0	0	24.5
10	63	0	0	0	18.2
3.2	63	0	0	0	21.9
10	80	0	0	0	17.3
10	100	0	0	0	17.2
10	130	0	0	0	18.5
10	160	0	0	0	19.1
32	160	0	0	0	24.6
32	200	0	0	0	27
10	200	0	0	0	23.4
32	250	0	0	0	24.6
32	320	0	0	0	32

Electrical sounding Schlumberger - JCAS-SC-3.WS3



Location X = 401473 Y = 3171135

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	24	1.8	1.8
	170	3.8	5.6
	80	1.5	7.1
	12	70	77
	80	60	137
	63		

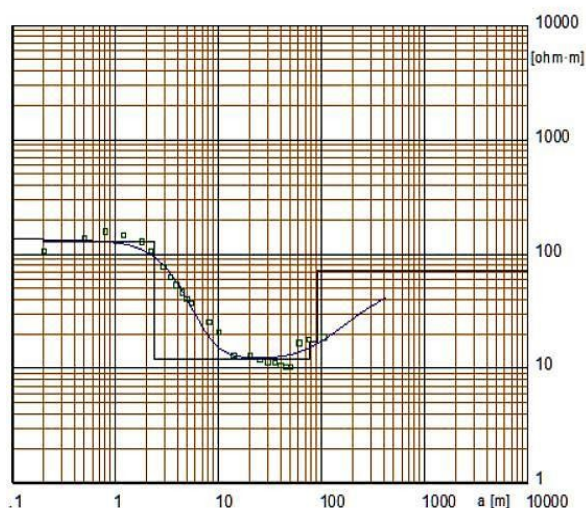
Los siguientes datos resistivos corresponden a 7 sondeos tipo Wenner tomados de Magallanes (2014), los cuales han sido reprocesados y reinterpretados para esta investigación, presentan la nomenclatura BMR seguido de WN en consecuencia al arreglo eléctrico.

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-1.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	107
.5	0	0	0	140
.8	0	0	0	159
1.2	0	0	0	147
1.8	0	0	0	130
2.2	0	0	0	107
2.9	0	0	0	77.8
3.4	0	0	0	63.8
3.9	0	0	0	54.2
4.4	0	0	0	46.7
4.9	0	0	0	41.2
5.4	0	0	0	37.9
8	0	0	0	25.7
10	0	0	0	20.9
14	0	0	0	13.1
20	0	0	0	13
25	0	0	0	12
30	0	0	0	11.5
35	0	0	0	11.3
40	0	0	0	10.8
45	0	0	0	10.5
50	0	0	0	10.4
60	0	0	0	16.9
75	0	0	0	18.3
105	0	0	0	19

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-1.WS3



Location X = 401419 Y = 3171678

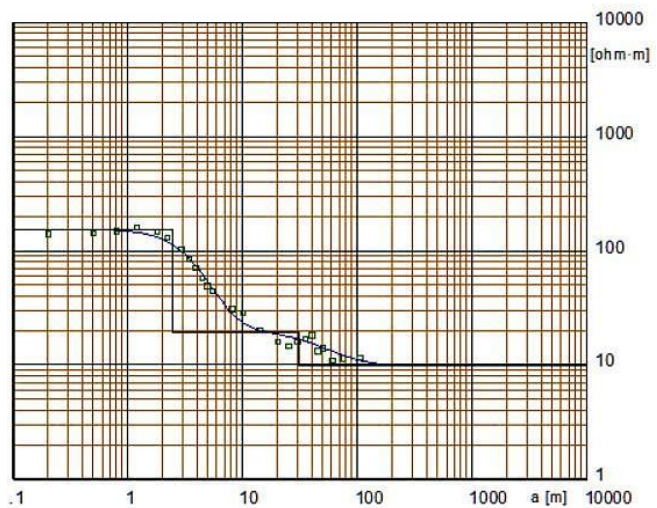
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	135	.2	
	130	2.2	.2
	12	75	2.4
	17	15	77
	72		92

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-2.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm·m]
.2	0	0	0	142
.5	0	0	0	143
.8	0	0	0	150
1.2	0	0	0	162
1.8	0	0	0	147
2.2	0	0	0	133
2.9	0	0	0	104
3.4	0	0	0	84.8
3.9	0	0	0	72.2
4.4	0	0	0	58.4
4.9	0	0	0	49.7
5.4	0	0	0	44.9
8	0	0	0	31.2
10	0	0	0	28.8
14	0	0	0	20.3
20	0	0	0	16
25	0	0	0	14.9
30	0	0	0	16.3
35	0	0	0	17
40	0	0	0	18.4
45	0	0	0	13.3
50	0	0	0	14.2
60	0	0	0	11
75	0	0	0	11.5
105	0	0	0	11.6

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-2.WS3



Location X = 401473 Y = 3171763

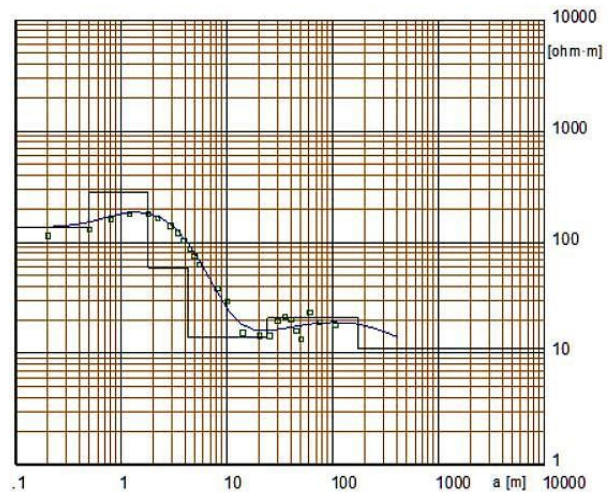
Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm·m]	[m]	[m]
	153	.94	
	154	1.5	.94
	19	29	2.4
	9.7		31

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-3.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm·m]
.2	0	0	0	116
.5	0	0	0	131
.8	0	0	0	163
1.2	0	0	0	182
1.8	0	0	0	182
2.2	0	0	0	168
2.9	0	0	0	142
3.4	0	0	0	123
3.9	0	0	0	104
4.4	0	0	0	87.8
4.9	0	0	0	75.6
5.4	0	0	0	63
8	0	0	0	38.6
10	0	0	0	29.8
14	0	0	0	15.5
20	0	0	0	14.6
25	0	0	0	14.6
30	0	0	0	19.9
35	0	0	0	21.6
40	0	0	0	20.5
45	0	0	0	16
50	0	0	0	13.6
60	0	0	0	23.6
75	0	0	0	19.4
105	0	0	0	18.2

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-3.WS3



Location X = 401604 Y = 3171960

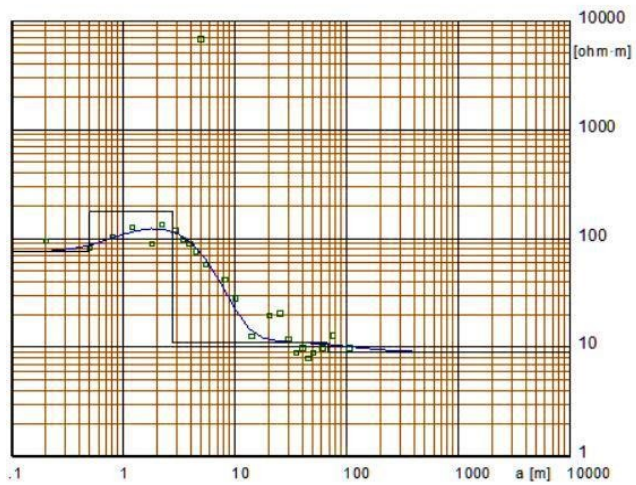
Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm·m]	[m]	[m]
135	.5	
280	1.3	.5
59	2.5	1.8
14	20	4.3
21	150	24
11		174

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-4.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm·m]
.2	0	0	0	95.2
.5	0	0	0	82.7
.8	0	0	0	105
1.2	0	0	0	128
1.8	0	0	0	90.5
2.2	0	0	0	135
2.9	0	0	0	122
3.4	0	0	0	99.1
3.9	0	0	0	89.9
4.4	0	0	0	76.8
4.9	0	0	0	6854
5.4	0	0	0	58.5
8	0	0	0	42.1
10	0	0	0	28.6
14	0	0	0	12.7
20	0	0	0	19.6
25	0	0	0	20.6
30	0	0	0	12.1
35	0	0	0	9
40	0	0	0	10
45	0	0	0	8
50	0	0	0	9
60	0	0	0	10
75	0	0	0	13
105	0	0	0	10

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-4.WS3



Location X = 401548 Y = 3171875

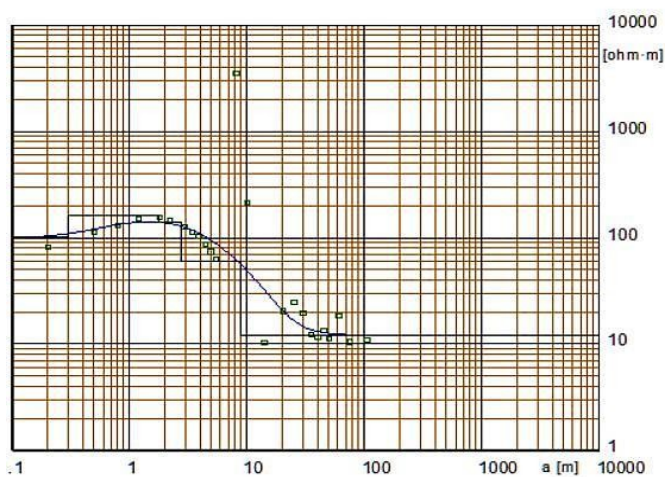
Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm·m]	[m]	[m]
75	.5	
175	2.3	.5
11	65	2.8
9		68

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-5.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	83.2
.5	0	0	0	115
.8	0	0	0	131
1.2	0	0	0	154
1.8	0	0	0	156
2.2	0	0	0	147
2.9	0	0	0	129
3.4	0	0	0	115
3.9	0	0	0	104
4.4	0	0	0	87.7
4.9	0	0	0	74.6
5.4	0	0	0	63.1
8	0	0	0	3564
10	0	0	0	216
14	0	0	0	10.5
20	0	0	0	20.7
25	0	0	0	24.8
30	0	0	0	19.8
35	0	0	0	12.3
40	0	0	0	11.7
45	0	0	0	13.6
50	0	0	0	11.4
60	0	0	0	18.5
75	0	0	0	10.6
105	0	0	0	11.1

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-5.WS3



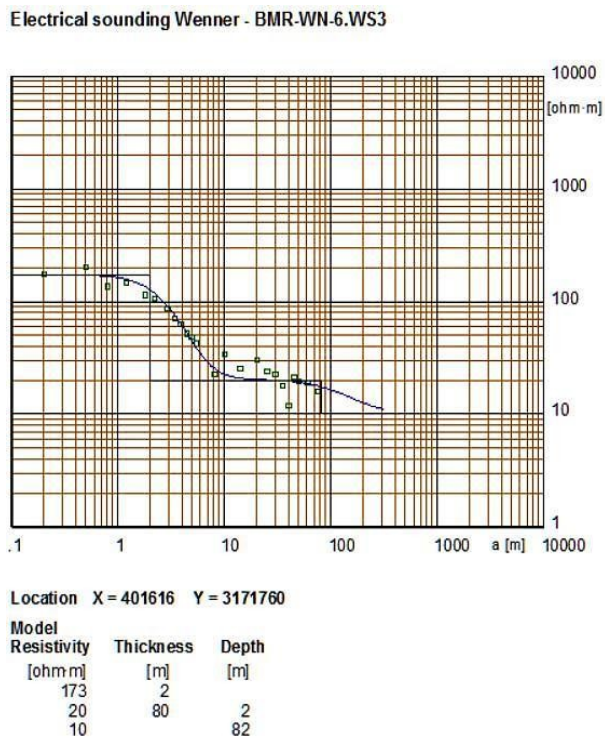
Location X = 401540 Y = 3171803

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	100	.3	
	160	1.5	.3
	140	1	1.8
	60	6	2.8
	12		8.8

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-6.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	178
.5	0	0	0	203
.8	0	0	0	138
1.2	0	0	0	147
1.8	0	0	0	116
2.2	0	0	0	107
2.9	0	0	0	88.2
3.4	0	0	0	71.4
3.9	0	0	0	63.3
4.4	0	0	0	52.5
4.9	0	0	0	49.4
5.4	0	0	0	43
8	0	0	0	22.7
10	0	0	0	34.6
14	0	0	0	25.5
20	0	0	0	30.8
25	0	0	0	24.4
30	0	0	0	22.7
35	0	0	0	18
40	0	0	0	12
45	0	0	0	21.6
50	0	0	0	19.8
60	0	0	0	19.2
75	0	0	0	16

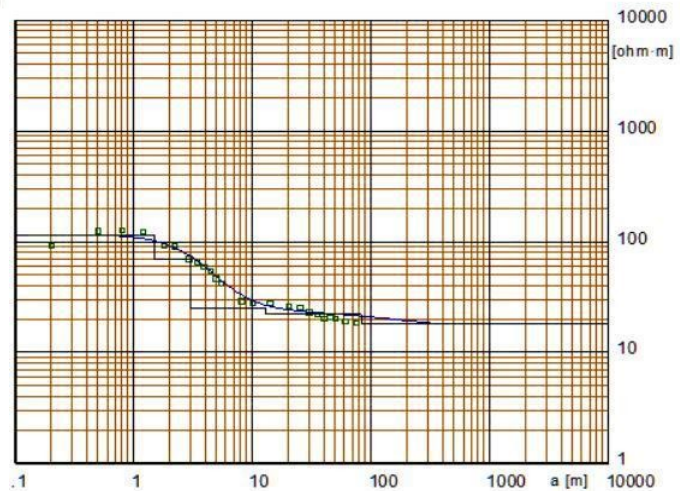


Electrical sounding Wenner - BMR-WN-7.WS3

Field data and calculated values

a	DeltaV	I	K	Resistivity
[m]	[mV]	[mA]	[-]	[ohm-m]
.2	0	0	0	93.3
.5	0	0	0	126
.8	0	0	0	128
1.2	0	0	0	125
1.8	0	0	0	92.6
2.2	0	0	0	91.6
2.9	0	0	0	70.7
3.4	0	0	0	65
3.9	0	0	0	60.3
4.4	0	0	0	54.9
4.9	0	0	0	46.9
5.4	0	0	0	42
8	0	0	0	29.4
10	0	0	0	28.2
14	0	0	0	27.9
20	0	0	0	26.4
25	0	0	0	26
30	0	0	0	23.2
35	0	0	0	22.1
40	0	0	0	20.2
45	0	0	0	21.1
50	0	0	0	20.4
60	0	0	0	19.1
75	0	0	0	18.7

Electrical sounding Wenner - BMR-WN-7.WS3



Location X = 401613 Y = 3171769

Model	Resistivity	Thickness	Depth
	[ohm-m]	[m]	[m]
	115	1.5	
	70	1.5	1.5
	25	10	3
	22	70	13
	18		83

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1 PERFILES GEOELÉCTRICOS

Después de haber procesado los sondeos eléctricos verticales de los cuales se obtuvieron paquetes o segmentos de resistividades en el subsuelo, por medio del programa WinSev se pudo obtener perfiles geoelectricos con el fin de realizar una interpretación por conjuntos de sondeos según su ubicación y cercanía uno al otro, con estos perfiles se pudo ir armando el conjunto en bloque para poder visualizar así en modelo general del área (Ver figuras 22 a 27 perfiles geoelectricos).

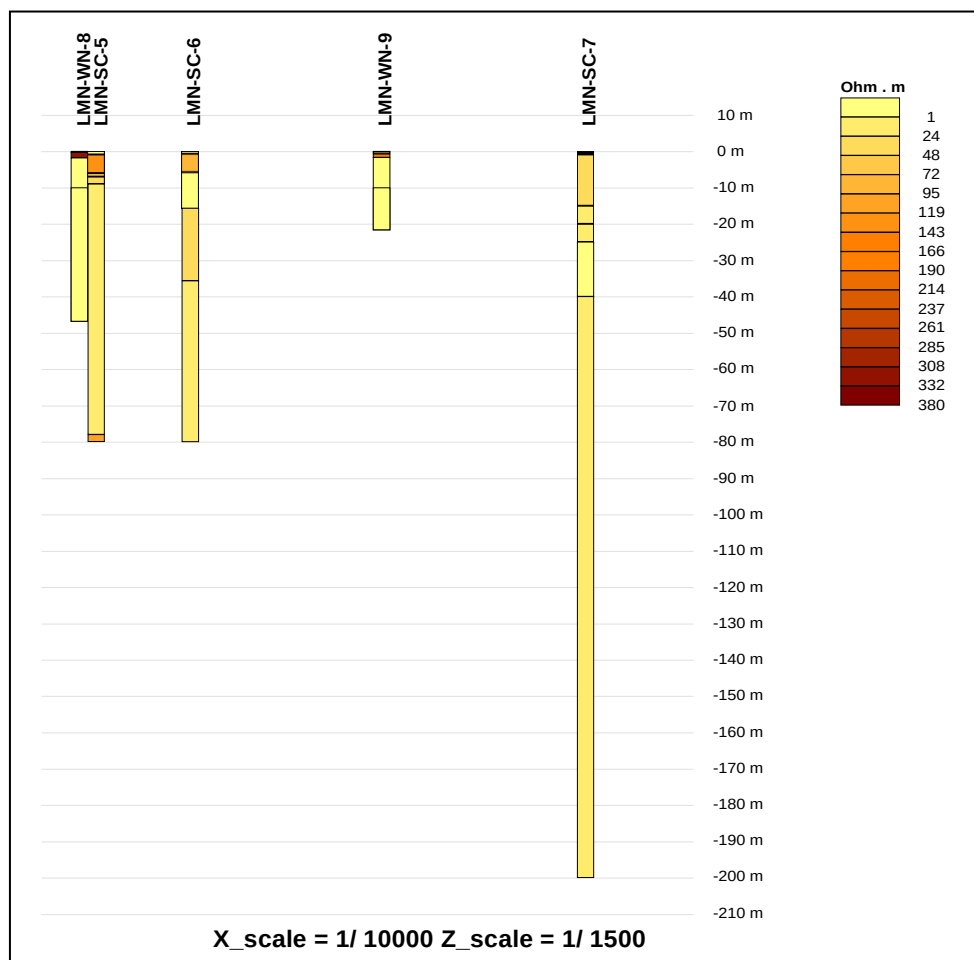


Figura 22.- Perfil geoelectrico en la parte norte del área de influencia.

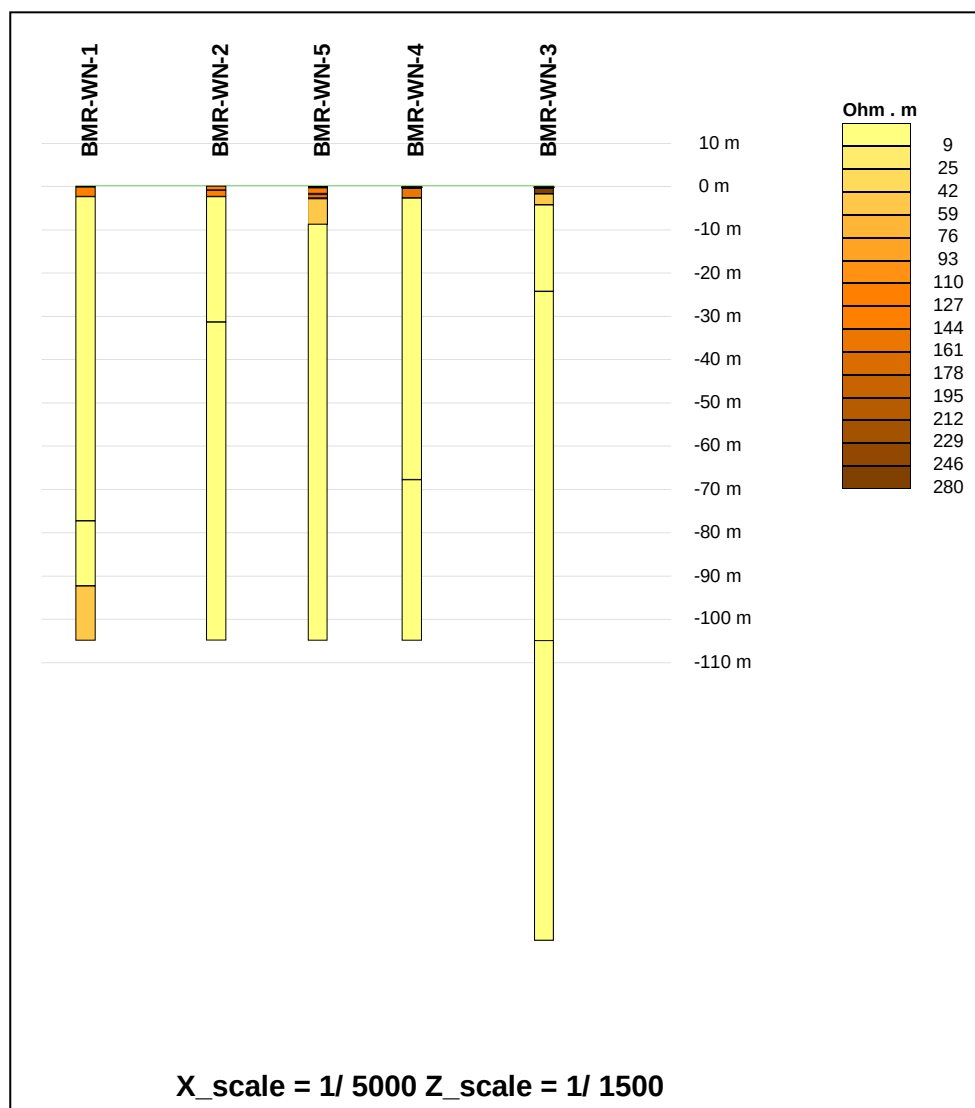


Figura 23.-Perfil geoelectrico 1 en parte central del área de influencia.

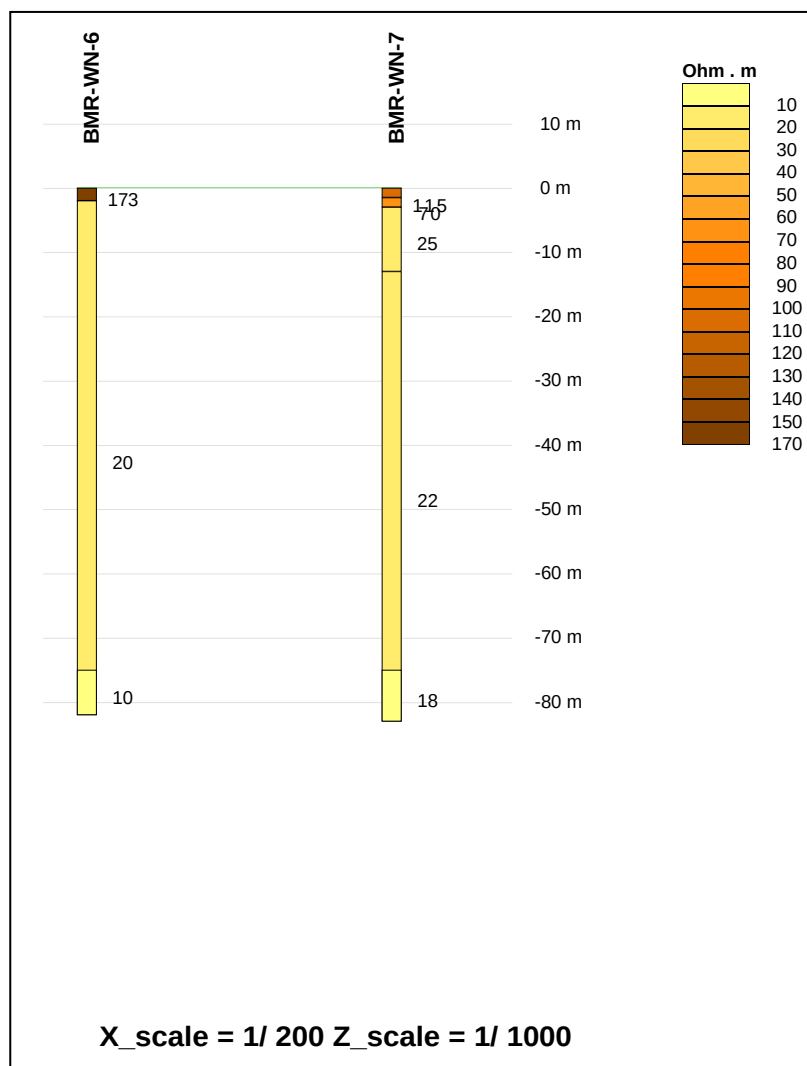


Figura 24.- Perfil geoelectrico 2 en la parte central del área de influencia.

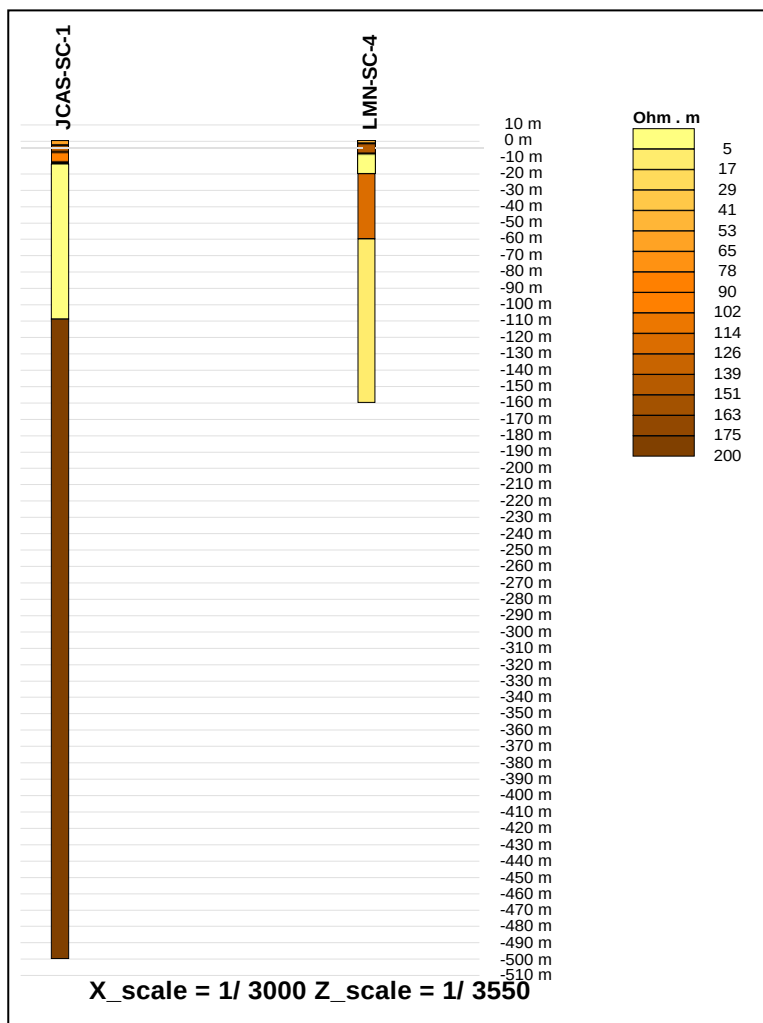


Figura 25.- Perfil geoelectrico en la parte este del área de influencia.

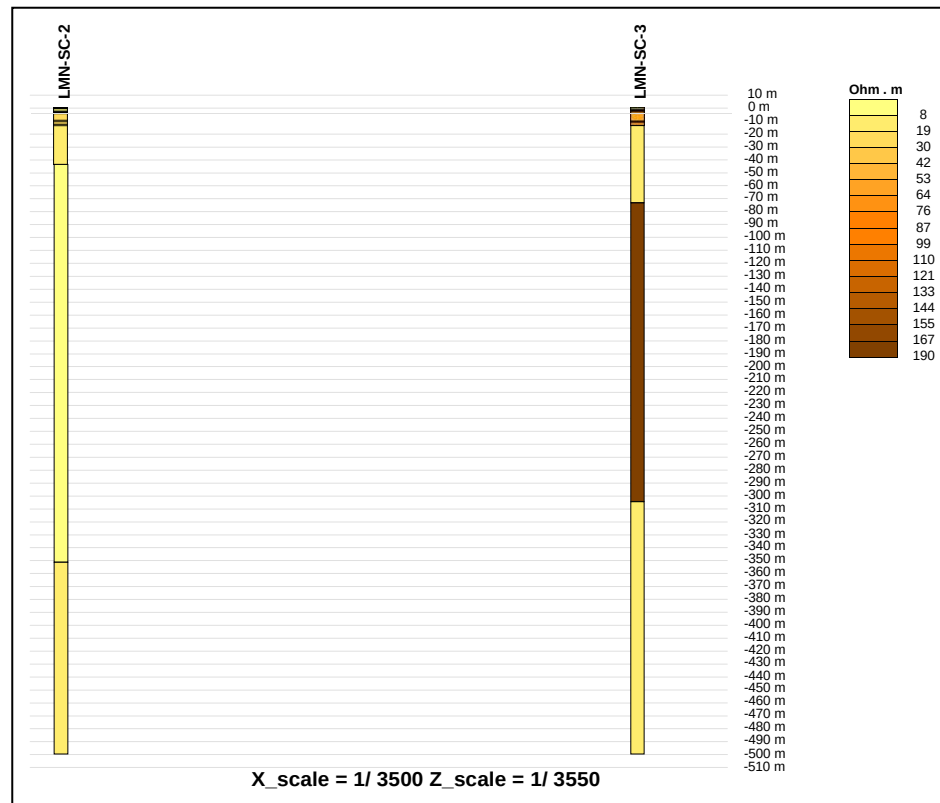


Figura 26.- Perfil geoelectrico en la parte sureste del área de influencia.

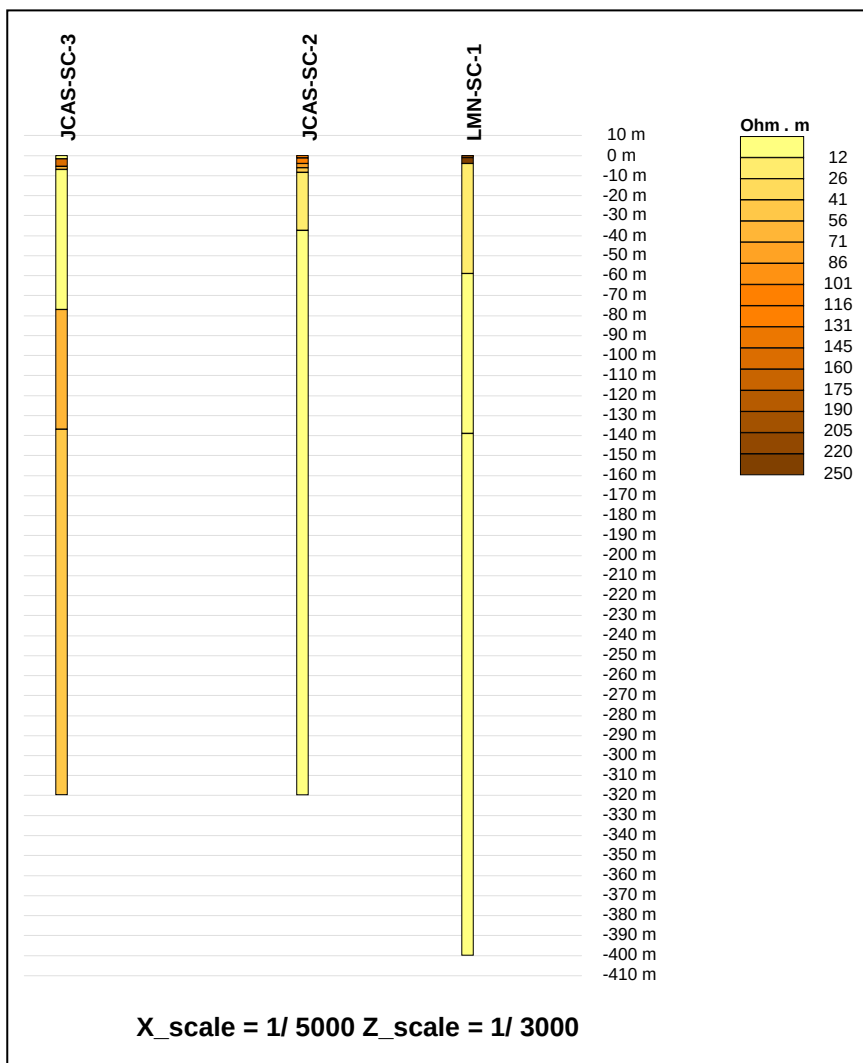


Figura 27.- Perfil geoelectrico en la parte sur del área de influencia.

Para poder realizar estos conjuntos fue necesario analizar la información que se tiene del área como la geología y cortes litológicos, para esta investigación se cuenta con los cortes de los pozos APCJ-1, APCJ-3, APCJ-4, APCJ-5, APCJ-6, APCJ-7, APCJ-8, APCJ-10, APCJ-11, Avalos, CTU-3, Paseos de Concordia 1 y 2, Robinson 3, Tabalaopa 9, Nombre de dios 8 y 9, dichos pozos se encuentran distribuidos dentro de los límites del acuífero Tabalaopa-Aldama. Por último una recopilación de valores resistivos es de suma importancia para poder determinar que valores pertenecen a cada litología (Ver tablas 5 a 9 de valores resistivos).

Con toda la información recabada, se realizó la interpretación y correlación de los datos de resistividad para la zona, determinando cuatro unidades litológicas (Ver tabla 10 con los valores resistivos para zona de estudio).

Tabla 5.- Resistividades de varias rocas y sedimentos, (Reynolds, 1997).

Rock type	Resistivity range (Ωm)
Granite porphyry	4.5×10^3 (wet) – 1.3×10^6 (dry)
Feldspar porphyry	4×10^3 (wet)
Syenite	$10^2 - 10^6$
Diorite porphyry	1.9×10^3 (wet) – 2.8×10^4 (dry)
Porphyrite	$10 - 5 \times 10^4$ (wet) – 3.3×10^3 (dry)
Carbonatized porphyry	2.5×10^3 (wet) – 6×10^4 (dry)
Quartz diorite	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (wet) -1.8×10^5 (dry)
Porphyry (various)	$60 - 10^4$
Dacite	2×10^4 (wet)
Andesite	4.5×10^4 (wet) – 1.7×10^7 (dry)
Diabase (various)	$20 - 5 \times 10^7$
Lavas	$10^2 - 5 \times 10^4$
Gabbro	$10^3 - 10^6$
Basalt	$10 - 1.3 \times 10^7$ (dry)
Olivine norite	$10^3 - 6 \times 10^4$ (wet)
Peridotite	3×10^3 (wet) – 6.5×10^3 (dry)
Hornfels	8×10^3 (wet) – 6×10^7 (dry)
Schists (calcareous and mica)	$20 - 10^4$
Tuffs	2×10^3 (wet) – 10^5 (dry)
Graphite schist	$10 - 10^2$
Slates (various)	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Gneiss (various)	6.8×10^4 (wet) – 3×10^6 (dry)
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^6$ (dry)
Skarn	2.5×10^2 (wet) – 2.5×10^8 (dry)
Quartzites (various)	$10 - 2 \times 10^8$
Consolidated shales	$20 - 2 \times 10^3$
Argillites	$10 - 8 \times 10^2$
Conglomerates	$2 \times 10^3 - 10^4$
Sandstones	$1 - 6.4 \times 10^8$
Limestones	$50 - 10^7$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Unconsolidated wet clay	20
Marls	3 – 70
Clays	1 – 100
Oil sands	4 – 800

Tabla 6.- Resistividades de rocas comunes y minerales (Ohm-metros) (Milsom, 2003).

<i>Common rocks</i>	
Topsoil	50–100
Loose sand	500–5000
Gravel	100–600
Clay	1–100
Weathered bedrock	100–1000
Sandstone	200–8000
Limestone	500–10000
Greenstone	500–200000
Gabbro	100–500000
Granite	200–100000
Basalt	200–100000
Graphitic schist	10–500
Slates	500–500000
Quartzite	500–800000
<i>Ore minerals</i>	
Pyrite (ores)	0.01–100
Pyrrhotite	0.001–0.01
Chalcopyrite	0.005–0.1
Galena	0.001–100
Sphalerite	1000–1000000
Magnetite	0.01–1000
Cassiterite	0.001–10000
Hematite	0.01–1000000

Tabla 7.- Resistividades de rocas ígneas y metamórficas (Telford, 1976).

Tipo de Roca	Intervalo de resistividades (ohm-m)
Granito	3×10^2 – 10^6
Pórfido granítico	4.5×10^3 (húmedo) a 1.3×10^8
Pegmatita (Pórfido feldespático)	4×10^3 (húmedo)
Albita	3×10^2 (húmedo) a 3.3×10^3 (seco)
Sienita	102 a 106
Diorita	104 a 105
Pórfido de diorita	1.9×10^3 (húmedo) a 2.8×10^4 (seco)
Porfírita	10^3 a 10^4 (húmedo) a 3.3×10^4 (seco)
Pórfido carbonizado	2.5×10^3 (húmedo) a 6×10^4 (seco)
Pórfido de cuarzo	3×10^2 a 9×10^3
Diorita cuarzosa	2×10^4 a 2×10^5 (hum) a 1.8×10^5 (seco)
Pórfidos (varios)	60 a 104
Dacita	2×10^4 (húmedo)
Andesita	4.5×10^4 a 10^5 (húmedo) a 1.7×10^7 (seco)
Pórfido de diabasa	103 (húmedo) a 1.7×10^5 (seco)
Diabasa (varios)	201 a 5×10^7
Lavas	102 a 5×10^4
Gabro	103 a 10^5
Basalto	101 a 1.3×10^7 (seco)
Norita de olivino	103 a 6×10^4 (húmedo)
Peridotita	3×10^3 (húmedo) a 6.5×10^3 (seco)
Corneana	8×10^3 (húmedo) a 6×10^7 (seco)
Esquistos	201 a 104
Tobas	2×10^3 (húmedo) a 10^5 (seco)
Esquisto de grafito	101 a 102
Lajas (varios)	6×10^2 a 4×10^7
Gneises (varios)	6.8×10^4 (húmedo) a 3×10^8 (seco)
Mármol	102 a 2.5×10^3 (seco)
Eskarn	2.5×10^2 (húmedo) a 2.5×10^3 (seco)
Cuarzitas (varias)	10^1 a 2×10^3

Tabla 8.- Valores resistivos de minerales y rocas (Orellena, 1982).

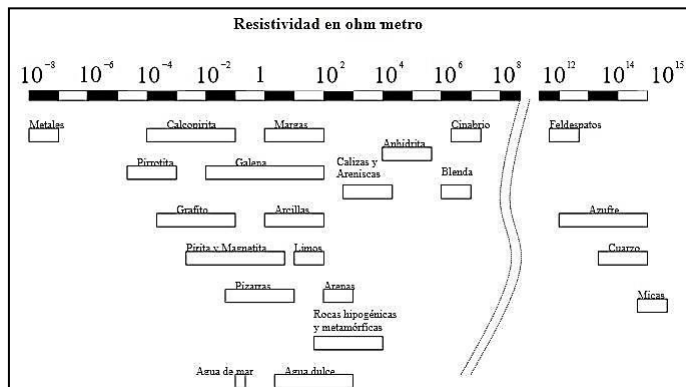


Tabla 9.- Compilación de valores resistivos. Tabla 10.- Resistividades para la zona de estudio

Tipo de Roca	Resistividad Ωm
suelo cubierta	50-100
Gravas	100-600
Aluvión	100-8000
Terrenos vegetales humedos	10-50.
humus	10-150.
limo	20-100
limos no saturados	100-200
limos saturados	20-100
arcillas	2-20 .
arcilla plastica	50
arcillas poco saturadas	20-40
arcillas saturadas	5-30.
arena	500-1500
arenisca arcillosas	50-500
arenisca cuarcitas	300-10000
arena arcillosa	50-500
arenas no saturadas	400-700
arenas saturadas	100-200
arena fina seca	1000
Grava	1500-4000
grava mojada	500
gravas no saturadas	500-2000
gravas saturadas	300-500
arena, arcilla y grava	40-250.
arena y grava	50-1000
pizarras	10-300.
margas	20-100.
margas y arcillas compactas	100-200
calizas blandas	100-300
calizas compactas	1000-5000
toba volcanica	20-100
esquisto arcilloso	100-300
esquisto sano	300-3000
gneis, granito alterado	100-1000
gnes, granito sano	1500-10000
gneis	2000
granito mojado	2000
rx de mica y cuarzo	800

Litología	Resistividad Ωm
Aluvión y Grava gruesa	40-130
Gravas y Arenas	0-40
Gravas y Arenas arcillosas	160-190
Arenas arcillosas	50-70

5.2 MODELO GEOELÉCTRICO

Para obtener el modelo geoelectrico se procesó la información en el programa groundwater modeling system (GMS 7.1), el sistema de coordenadas geográficas mundial utilizado en todo la investigación es el Sistema geodésico mundial 1984 (WGS84). Con los resultados de los perfiles geoelectricos se trabajó de manera individual con cada sondeo en este programa, con el fin de obtener un conjunto final para ser correlacionado. En las siguientes figuras se muestran dichos sondeos con diferentes vistas para preciar su distribución. Ver figuras 28 a 30 distribuciones de los sondeos.

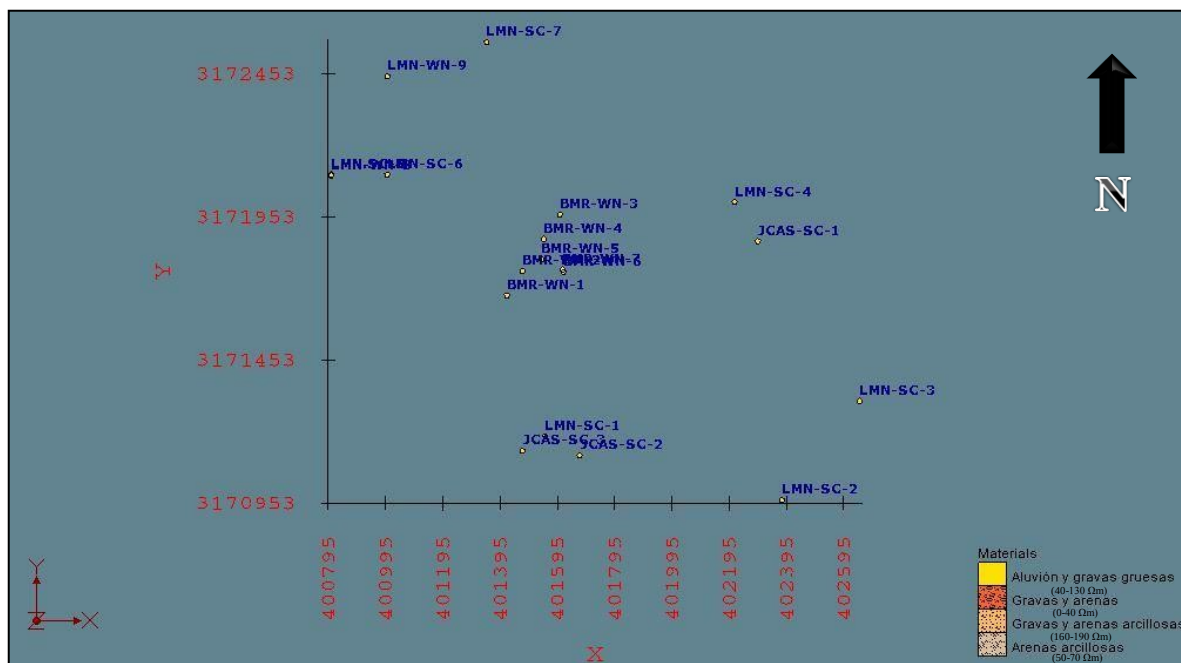


Figura 28.- Vista en planta de los SEV's en GMS.

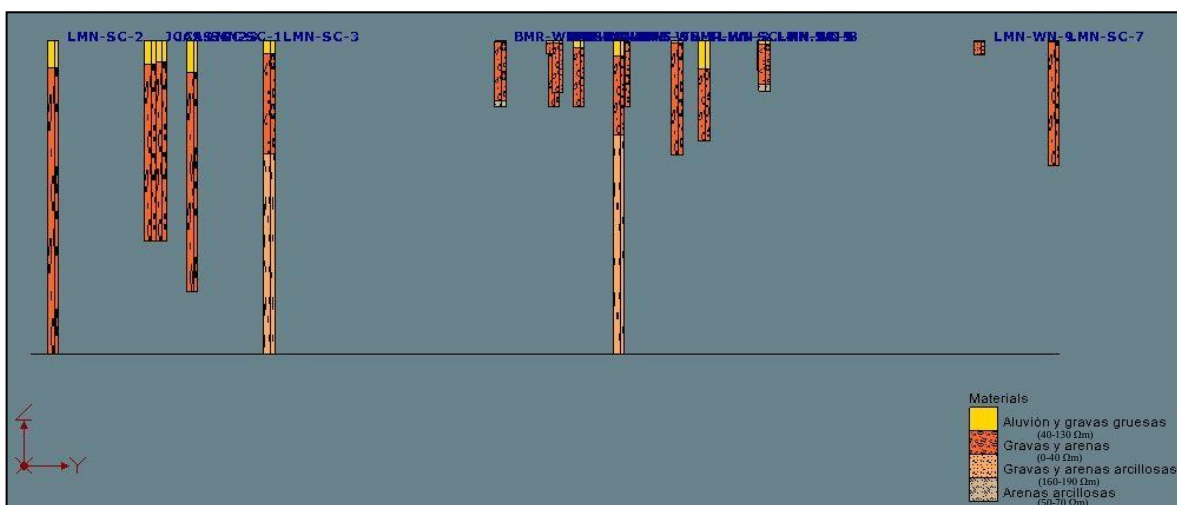


Figura 29.- Sección lateral N-S con vista al oeste.

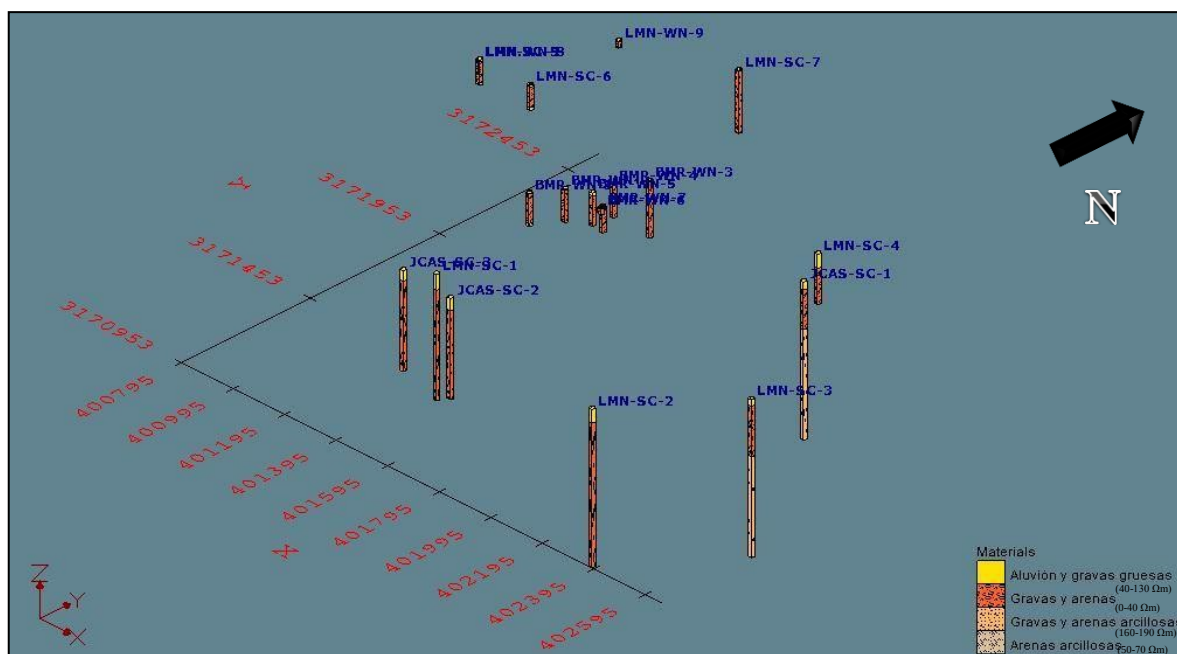


Figura 30.- Vista oblicua de la distribución en 3D de los SEV's.

Una vez realizada la interpretación individual de cada sondeo en el software fue posible construir el modelo en 3D correlacionando todos los sondeos (Ver figuras 31 a 35 vistas del modelo 3D).

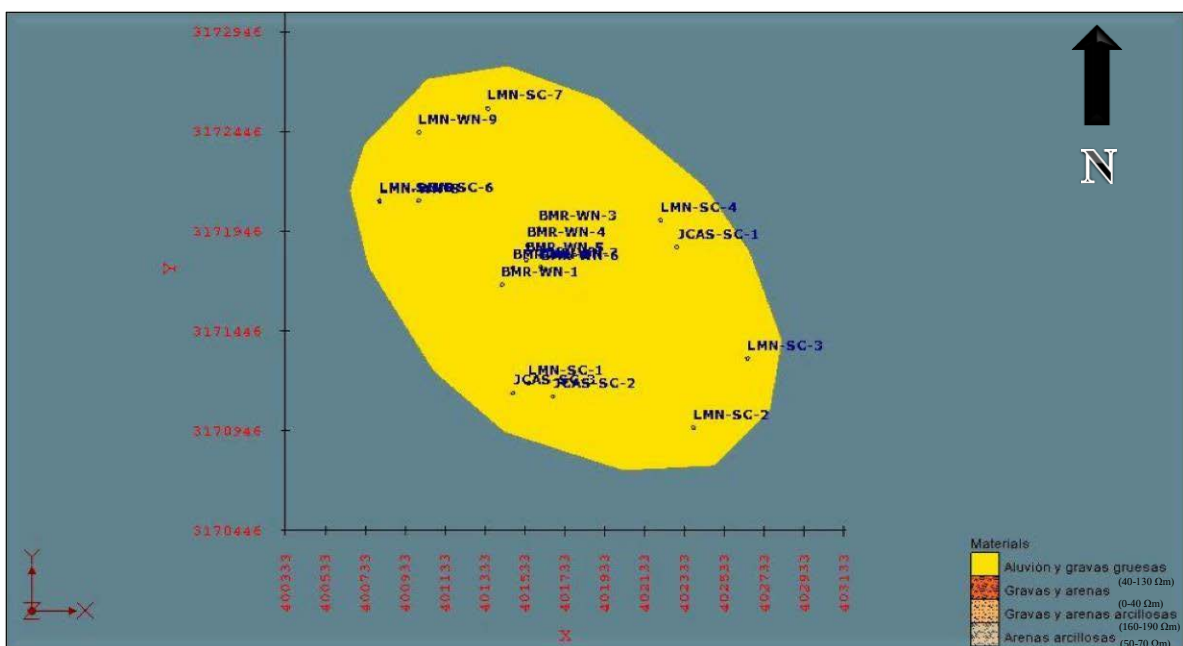


Figura 31.- Vista en planta del modelo en 3D.

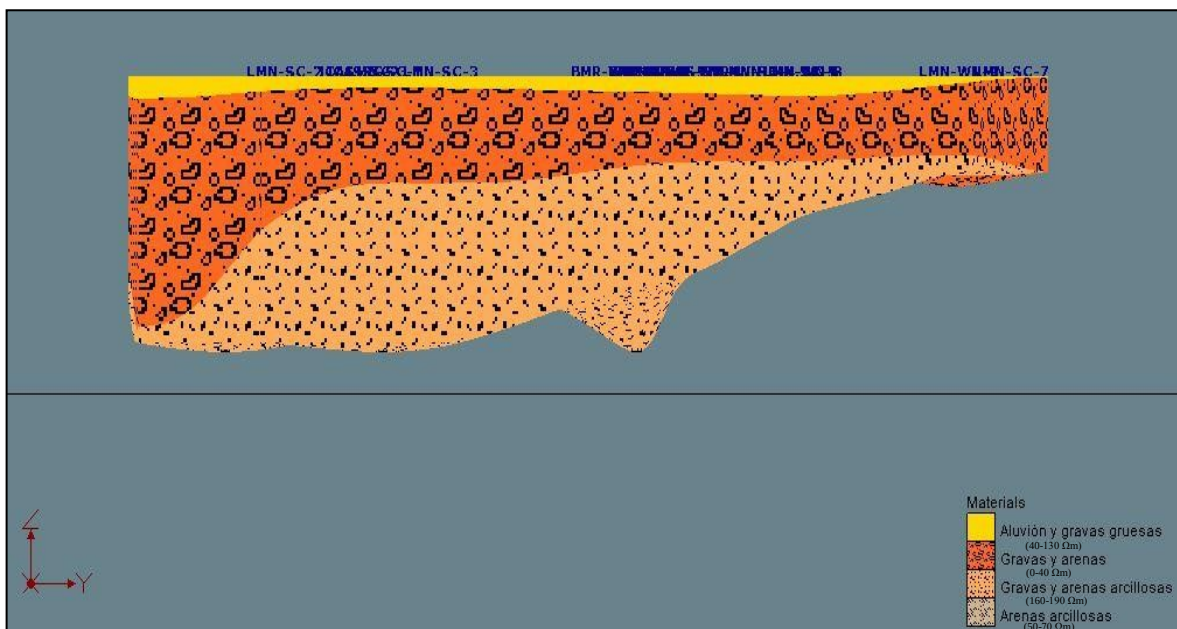


Figura 32.- vista lateral N-S viendo al oeste.

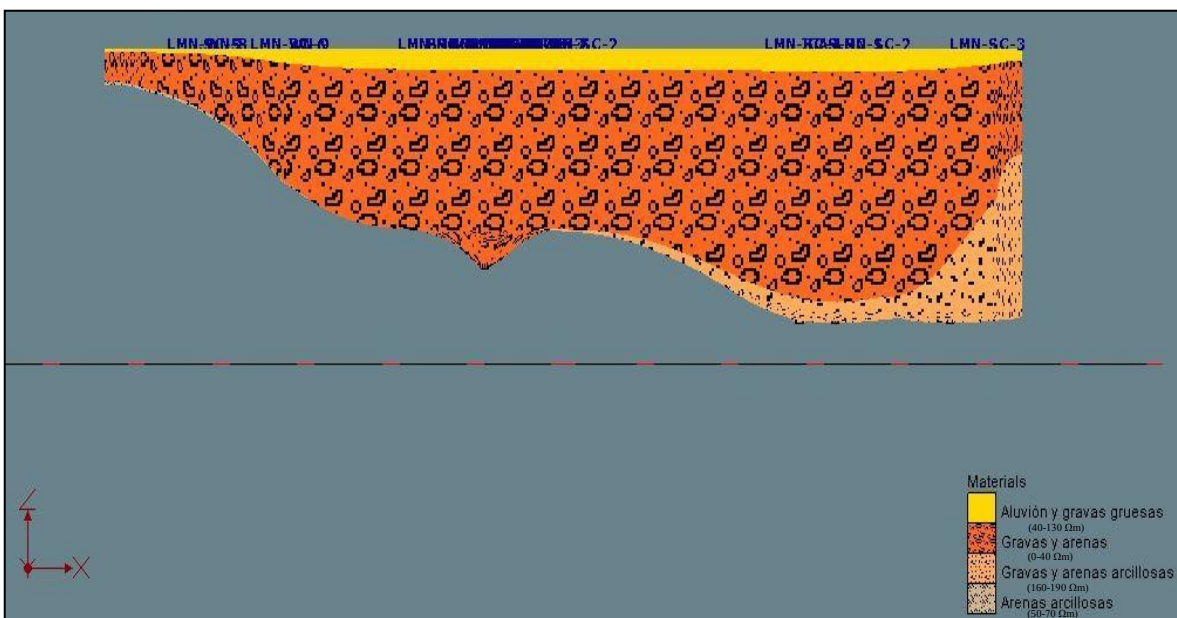
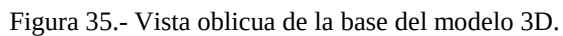


Figura 33.- Vista lateral E-O viendo al norte.



Se realizaron varios cortes o secciones para apreciar la conformación del modelo así como para analizar de manera más detallada la distribución de los materiales (Ver figuras 36 a 40).

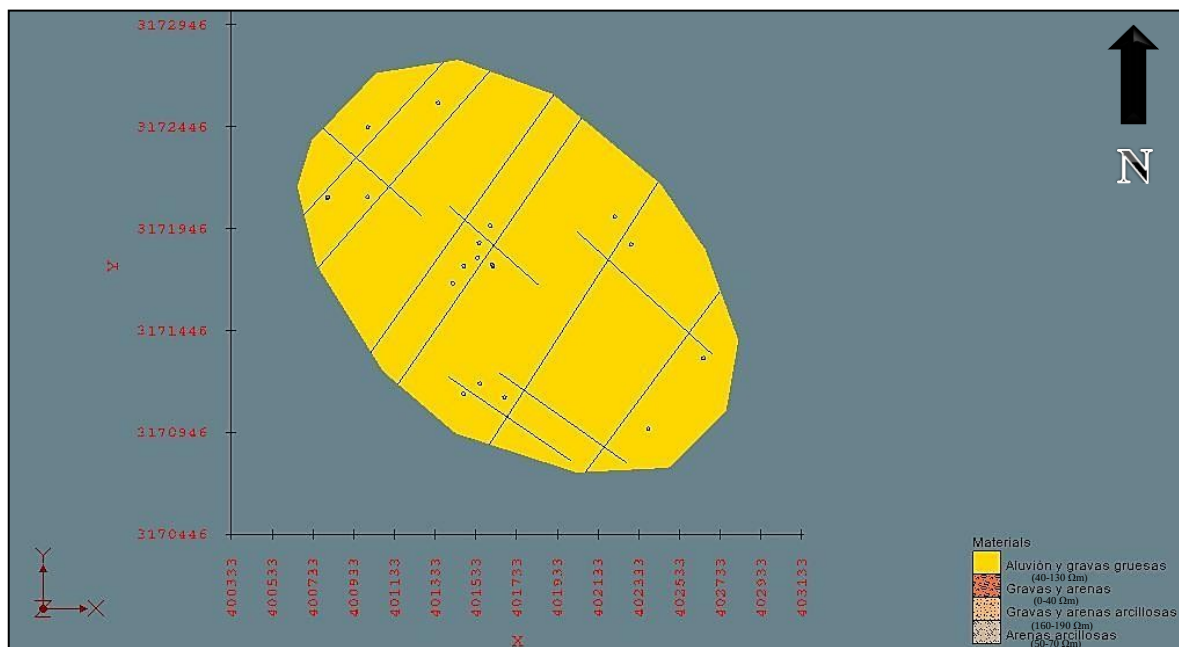


Figura 36.- Vista en planta de la distribución de las secciones.

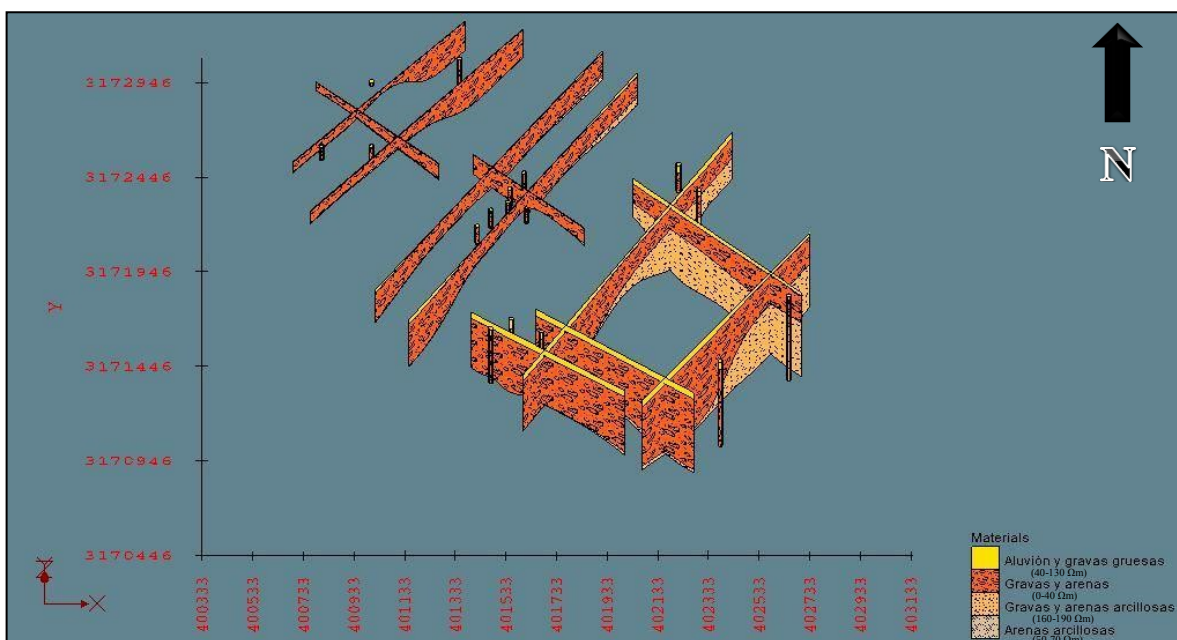


Figura 37.- vista oblicua 1 de las secciones.

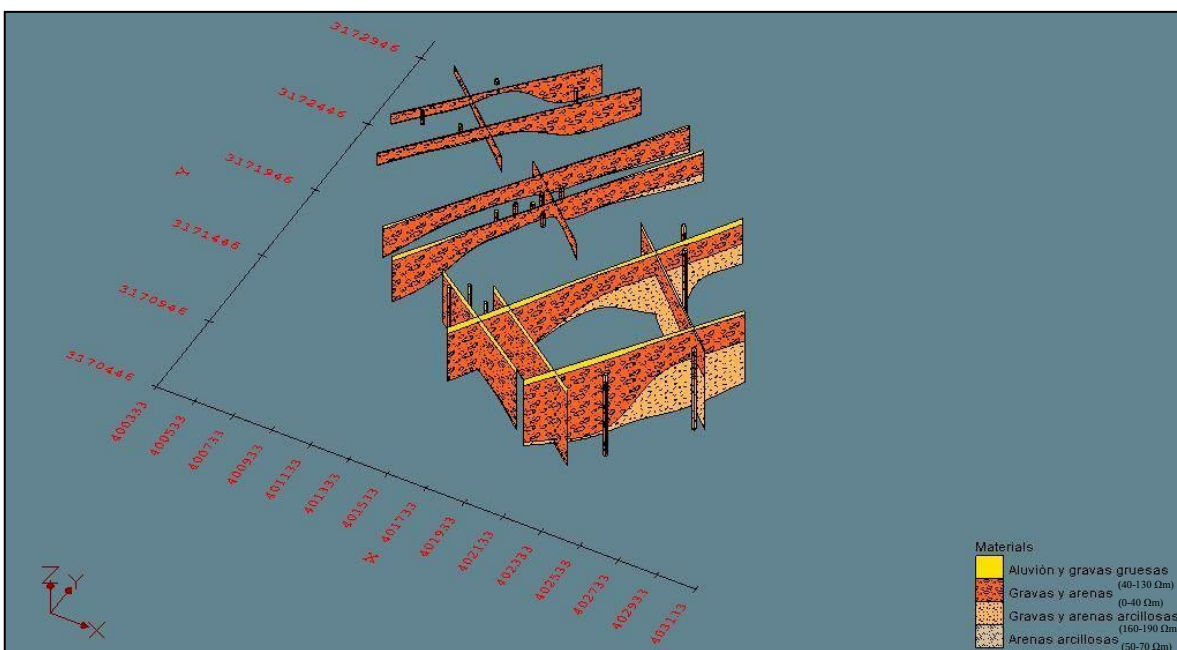


Figura 38.- Vista oblicua 2 de las secciones.

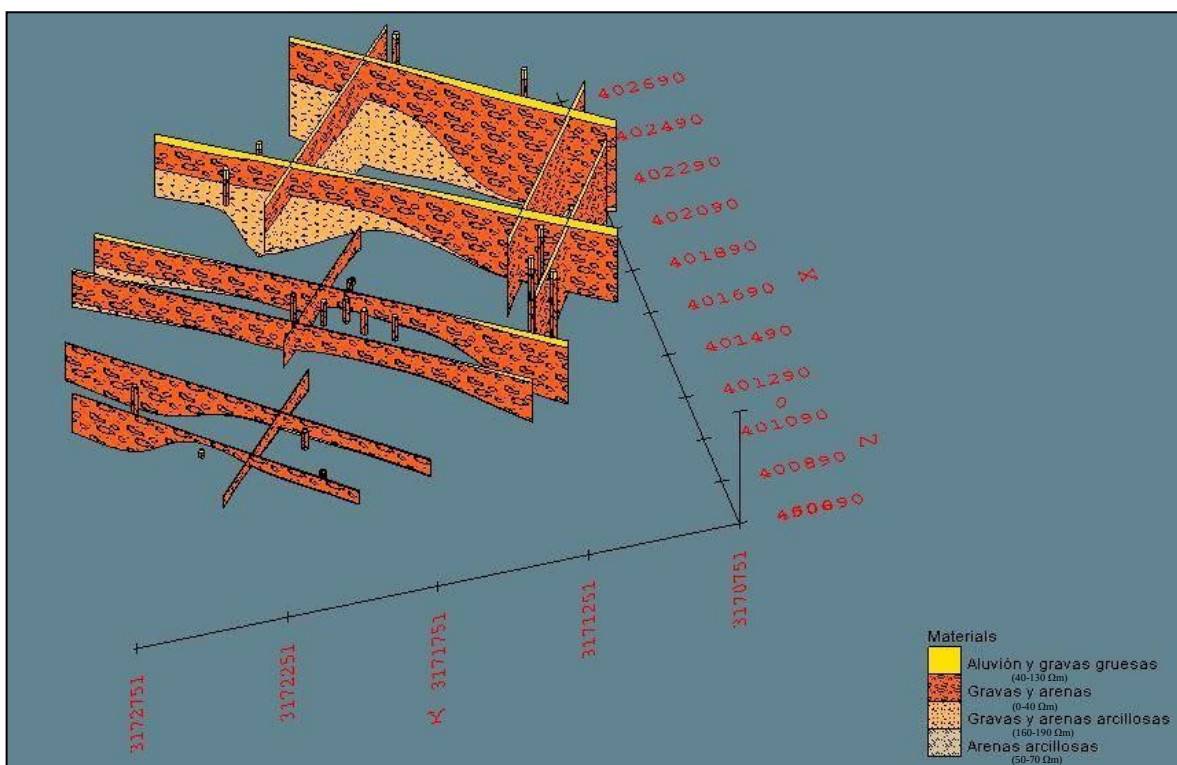


Figura 39.- Vista oblicua 3 de las secciones.



Figura 40.- Vista oblicua 4 en zoom del área de las arenas arcillosas.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El procesamiento de los 19 SEV's permitió realizar una clasificación de materiales para la elaboración del modelo geoelectrico, el cual presenta longitudes de hasta un kilómetro aproximadamente alrededor de la balsa de infiltración.

Esta clasificación de unidades es correspondiente a la que se encuentra en el relleno de un valle de origen aluvial, como corresponde al valle de Tabalaopa-Aldama, es decir se trata de unidades no consolidadas que además presentan diferentes granulometrías.

Se determinó que la primera capa está constituida por material aluvial con gravas gruesas y de manera general tiene espesores variables de hasta 15 metros, la cual permite la infiltración de agua casi sin problemas. Cabe señalar que si se ampliara en extensión este modelo, probablemente se puede encontrar material con mayor granulometría como boleas hacia la cercanía con las sierras.

La segunda capa está constituida por gravas y arenas, ésta representa el mayor espesor y alcanza los 500 metros de profundidad al sur-suroeste del área de estudio, con esto no quiero decir que sea el espesor máximo de esa capa o del relleno pero si la profundidad máxima registrada con los sondeos más profundos realizados en la investigación.

Esta capa de gravas y arenas puede representar una gran importancia con impacto favorable en el proyecto piloto de recarga artificial, ya que constituye el medio con una conductividad hidráulica que coadyuva el flujo del agua de manera subterránea, donde las arenas contenidas puedan tomar el papel de un filtro natural en la zona vadosa. Por lo tanto

este filtro natural puede retener el contenido de los sólidos suspendidos, permitiendo de esta manera que el agua percole con mejor calidad. Se debe tener en cuenta que al actuar como un filtro llegará algún momento en el cual la arena pueda saturarse.

Las últimas dos capas registradas son gravas con arenas arcillosas las cuales se localizan en la parte sureste del área de estudio y arenas arcillosas al noroeste del área, esta última con un espesor aparente de 10 metros en general el cual es menor que las gravas con arenas arcillosas que alcanzan un poco más de 300 metros desarrollo hacia la porción sureste del modelo.

Estas últimas dos capas pueden influir en las direcciones del flujo del agua infiltrada, debido a la propiedad impermeable de las arcillas dirigiéndolo a zonas más permeables una vez que estas se encuentren saturadas. Por esta razón es recomendable continuar con las mediciones de los niveles piezométricos de los pozos de observación, para registrar cualquier cambio representativo o fluctuación en ellos que puedan ser indicativo de un cambio en la dirección del flujo.

No fue posible detectar el basamento en esta porción del acuífero, debido a que el relleno tiene mayor espesor que la profundidad máxima alcanzada en este estudio, por lo que si fuera necesario conocer la profundidad exacta del basamento en esta área, se recomienda realizarlo mediante otro método geofísico, ya que las áreas urbanizadas limitan las aperturas de los electrodos.

Existen dos sondeos eléctricos verticales que se encuentran por fuera del límite del área de estudio, esto se debe a cableados eléctricos que se encuentran en la zona hacia la

parte sur dentro de los límites, por lo que se colocaron fuera para tener una fiabilidad en las lecturas.

Como se puede observar el modelo geoelectrico presenta un adelgazamiento en su representación hacia la porción norte y noroeste, esto se debe a la gran cantidad de áreas de cultivos y algunas viviendas que obstaculizaron la extensión de las líneas para realizar los sondeos a mayor profundidad, siendo digno de señalar que se realizaron varios sondeos en esa parte algunos por el arreglo electródico Wenner y otros Schlumberger extendiendo las aberturas electródicas al máximo que permitió el terreno, esto dio buena información para la construcción del modelo.

REFERENCIAS

- Aceves, A. A. (2003). Geofísica aplicada en los proyectos básicos de ingeniería civil, (229).
- Auge M. (2008). Métodos geoeléctricos para la prospección de agua subterránea, 27.
- Bakkali, Saad. (2006). Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hídrico de la región de Tizeght (anti-atlas marroquí). *Ingeniería, Investigación Y Tecnología*.
- Chávez R. (1993). Hidrogeología física y química de la porción centro-occidental del valle de Tabalaopa Aldama, Chihuahua.
- CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), Estado de Chihuahua. *Diario Oficial de La Federación*, 1.
- CONAGUA (2016). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama (0835) Estado de DOF • Diario Oficial de la Federación, 1–7.
- Cortez, F. J. (2012). Recarga artificial de acuíferos mediante pozos de infiltración, 1–72.
- GEOFIMEX (1972). Estudio geofísico realizado en los valles de Tabalaopa Aldama.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (Inegi). (2004). Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología. *Sierra*, 11–24.
- http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/EdafIII.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (Inegi). (2008). Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.
- http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/1GEOGRAFIADDEMEXICO/MANUAL_CARAC-EDA-FIS-VS-ENERO-29-2008.pdf
- López H. (2014). Geofísica para la localización de agua subterránea en ambientes volcánicos áridos, de la Mesa central, caso La Dulcita, Villa de ramos, San Luis Potosí México.
- López, S. T., & Lorenzo, J. De. (2010). Aplicación del método de resistividades con SEV para la caracterización hidrogeológica de la cuenca de Dajla (Argelia), 223–226.
- Magallanes B. E. (2014). Exploración geoeléctrica adaptada para la caracterización física del lecho filtrante en proyecto de recarga subsuperficial planta sur, Chihuahua Chih. 71.
- Milson, J (2003). Field Geophysics. Wiley.

- Murillo, J. M. (2004). Recarga de acuíferos. evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. acuífero aluvial del bajo guadalquivir., 804.
- Norma Oficial Mexicana (2003). NOM-014-CONAGUA-2003 Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- Orellana, E. (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Paraninfo.
- Osuna A. (1991). Construcción de un modelo Aldama, Chihuahua.
- Pérez J. M. (1996). Determinación de la geometría del acuífero Tabalaopa Aldama, Chihuahua.
- Reyes S. S. (2009). Exploración hidrológica mediante la aplicación de sondeos eléctricos verticales y sísmica de refracción en Cuba libre, Guerrero, 136.
- Reynolds, J. M. (1997). An introduction to applied and enviromental geophysics. West Suxxex, England: Wiley
- Sendros, A. (2012). Aplicación de parámetros geoelectricos en el estudio de las aguas subterráneas (Cuenca de Valls, Tarragona), 65.
- Servicio Geológico Mexicano (2007). Actividades geohidrológicas en los acuíferos: Santa Clara, Aldama, San Diego, Villalba, Conejos Medanos, Tabalaopa Aldama y Rio San Pedro, en el estado de Chihuahua.
- Servicio Geológico Mexicano (2006). Carta geológico-minera Sacramento H13-C56, Chihuahua.
- Servicio Geológico Mexicano (2002). Carta geológico-minera Chihuahua H13-C66. Chihuahua.
- Servicio Geológico Mexicano (2006). Carta geológico-minera Aquiles Serdán H13-C67. Chihuahua.
- Sotelo, E. J. (2013). Aguas subterráneas y su registros geofísicos de pozos en Tizayuca estado de Hidalgo, 55.
- Telford, W. M. (1976). Applied Geophysics Cambridge University Press.

CURRICULUM VITAE

Obtuve el título de Ingeniero Geólogo en el 2007 en la Universidad Autónoma de Chihuahua, en la facultad de ingeniería.

Dentro de mi experiencia laboral estuve como Ingeniero Geólogo Senior para la empresa CB Gold Inc. en un proyecto en Colombia durante el 2013 donde mis responsabilidades fueron la organización del equipo de geólogos con la toma de decisiones para llevar a cabo esas tareas, dirección de juntas diarias con todas las áreas del proyecto para organizar, resolver conflictos y monitorear las tareas asignadas. Realizar secciones geológicas, mapas geológicos, logueo y muestreo de trincheras, alineación de máquinas de perforación a diamante y control en la preparación de planillas.

Anterior a este estuve del 2007 al 2013 en Kimber Resources de México S.A. de C. V. donde como Ingeniero Geólogo Senior mis responsabilidades fueron: organizar el equipo de geólogos para cumplir las tareas de la compañía a su tiempo, preparar reportes internos y juntas semanales, mapeo geológico de áreas regionales, zanjas de muestreo, elaboración de: secciones geológicas, secciones de envoltentes de mineral, secciones de alteraciones, bancos geológicos, bancos de mineral, digitalizaciones, descripción de núcleo y de chips de circulación inversa, orientación de máquinas barrenación diamante y circulación inversa, control de elaboración de planillas, ubicación de brocales con equipos profesionales de posicionamiento global. En el proyecto Pericones Estado de México: mapeo geológico regional, mapeo interior mina, muestreos superficie e interior mina, orientación de máquinas barrenación diamante, control de elaboración de planillas, descripción de núcleo.

Domicilio Permanente: C. Palmanova 18928, Las Aldabas
Chihuahua, Chihuahua 31117

Esta tesis fue mecanografiada por Lizette Marmolejo Núñez.