



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE
LAGUNILLAS, MUNICIPIO DE HUIMILPAN,
QUERETARO.

T É S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEOFÍSICO
P R E S E N T A:
RAÚL HUICOCHA ORTÍZ

ASESOR: ING. FRANCISCO A. ARROYO CARRASCO.



CD. UNIVERSITARIA

ENERO 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



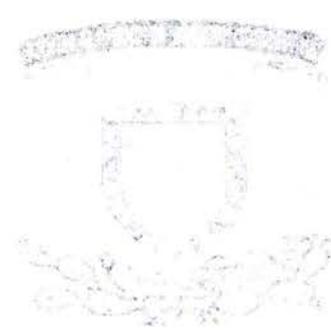
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTABLECIMIENTO DE LA BIBLIOTECA
DE LA BIBLIOTECA



ESTABLECIMIENTO DE LA BIBLIOTECA
DE LA BIBLIOTECA

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO
P. R. E. S. E. N. T. E.
RAÚL HERRERA ORTIZ

ESTABLECIMIENTO DE LA BIBLIOTECA



ESTABLECIMIENTO DE LA BIBLIOTECA

ESTABLECIMIENTO DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1096

SR. RAÚL HUICOCHEA ORTIZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Alejandro Arroyo Carrasco y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico:

**MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS, MUNICIPIO DE
HUIMILPAN QUERÉTARO**

- I INTRODUCCIÓN**
- II MARCO GEOGRÁFICO-GEOLÓGICO**
- III MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS**
- IV ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**
- ANEXOS**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D. F., a 27 de octubre de 2003

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*JAGC*gtg

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recaptional.

NOMBRE: RAUL HUICOCHEA

ORTIZ

FECHA: 22/01/04

FIRMA:

DEDICATORIA.

A MIS PADRES:

Los cuales vertieron en mi su amor, comprensión, apoyo y sabiduría, ya que sin ellos, no se hubiera llevado por buen camino este valioso triunfo. Fue un cofre de esfuerzos pero al final un triunfo para mi y todos mis seres queridos.

Raúl

. Quizás otros acierten de entrada; lo que es yo, no acierto sino después de diez tentativas. Quizás otros acierten después de diez tentativas; yo, después de mil. De cualquier forma, quien es suficientemente perseverante para transitar este camino, si es necio, llegará a ver claro; si es débil, llegará a ser fuerte.

AGRADECIMIENTOS

A la **U. N. A. M.** mi alma mater, por darme la oportunidad de pertenecer a esta gloriosa casa de estudios, igualmente a la **Facultad de Ingeniería**, por proporcionarme sus instalaciones y profesores mas calificados, para la realización de mí persona como profesional.

Quiero agradecer profundamente a mi Padre; **Sr. Raúl Huicochea Arellano** y a mi Madre; **Sra. Fidelía Ortiz Piña**, por su gran esfuerzo y sacrificios realizados, para que yo contara con una educación universitaria en la mejor casa de estudios, gracias también, por todo su apoyo y comprensión a lo largo de toda mi vida y carrera, además de demostrarme en todo momento su confianza.

A mi hermana: **Ing. Diana Huicochea Ortiz**, por ser mi guía y apoyo en el tiempo de la facultad, en mi vida y siempre estar dispuesta a ayudarme. Gracias a toda mi familia por estar conmigo.

Especialmente quiero agradece a la **Dr. Ana Lilia Mendoza Cruz** por su cariño, apoyo y comprensión en todo momento, esperando que este logro juntos sea el primero a lo largo de nuestras vidas. No puedo olvidar de mencionar a la **familia Mendoza (Sra. Sofía, Marcos, Maru, Gaby, Miris, Vero, Miguel (Pechuga) y al Sr. Fortino)**, que a pesar de todos los obstáculos me apoyaron y confiaron en mi para llevar a buen fin mi carrera.

A mi mejor amigo: **Pablo Cesar Llamas Arango**, gracias por su apoyo en los momentos más oscuros de mi vida y gracias por su compañía en los días gloriosos de la facultad, juntos vivimos cosas buenas y malas, pero siempre pudimos confiar el uno en el otro. Pablo sin ti no se hubiera logrado este trabajo, ni muchos triunfos de mi vida. **QUE**

DESCANSES EN PAZ †

A lo largo de la vida nos vamos encontrando luces en el camino que nos guían, alientan y direccionan, para seguir adelante, me refiero con esto a los profesores y amigos. Estas personas son: **Ing. Alejandro Arroyo Carrasco**, director de esta tesis, gracias por todos sus consejos, tiempo y paciencia para realizar este trabajo. **Ing. Zacarías Benítez Pablo**, es importante ser fiel a las amistades y usted lo sabe hacer bien, espero jamás defraudarlo. **Karina** gracias por toda tu paciencia y por estar conmigo en las buenas y las malas. **Ana Llanus** gracias por toda tu amistad.

A los Ingenieros: Carlos Lora de la Fuente, Rodrigo Hernández Ordóñez, Mauricio Nava Flores, Gibran Armenta Maya, Humberto Arévalo López, Bruno, Vane, Daniel (Zapata), Aristóteles, Guillermo, Licelda, Antonio Espriu, Lalo, Edgar Vélez. Todas estas personas han significado mucho en mi vida y a lo largo de mi camino en la facultad de ingeniería, gracias por estar conmigo siempre que los necesite, y enseñarme que una amistad es para siempre y demostrarme que un amigo es alguien que te enseña lo mejor y lo peor de uno como persona y así han sido todos ustedes conmigo. Y por supuesto no se pueden olvidar todos los agradables momentos que pasamos juntos, siempre fueron tiempos muy especiales para mi.

Gracias a todos los profesores de la carrera de Ing. Geofísica, por todo su empeño, sabiduría y tiempo vertido en cada uno de nosotros sus alumnos.

Por cierto casi me olvido del **Ing. Juan José Briones Gálvez** , gracias por sus consejos, recomendaciones y por compartir conmigo el rumbo de su velero llamado Geofísica.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Estudios Previos.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Localización del área de estudio.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO GEOGRÁFICO - GEOLÓGICO	
2.1 Hidrografía.....	6
2.2 Fisiografía.....	7
2.3 Clima.....	9
2.4 Vegetación y tipo de Suelo.....	10
2.5 Vías de Comunicación.....	11
2.6 Aspectos Socioeconómicos.....	11
2.7 Geología de la Localidad.....	11
2.8 Geología Histórica.....	13
2.9 Geología Estructural.....	13
2.10 Geología Económica.....	14
2.11 Evaluación Geohidrológica.....	14
2.12 Modelo Geológico Preliminar.....	18
CAPÍTULO III	
MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS	
3.1 Metodología y Equipo Empleado.....	19
3.2 Fundamentos de los SEV.....	21
3.3 Interpretación Geoeléctrica.....	31
3.4 Registro Geofísico.....	33
3.5 Mapas de Isorresistividades.....	36
3.6 Interpretación Perfil No. 1.....	41
3.7 Interpretación Perfil No. 2.....	42
3.8 Interpretación Perfil No. 3.....	43
3.9 Interpretación Perfil No. 4.....	44
3.10 Interpretación Sección Cruzada no. 1.....	45
3.11 Interpretación Sección Cruzada no. 2.....	47
CAPITULO IV	
ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 Modelo Geológico-Geofísico.....	49
4.2 Determinación del Basamento.....	51
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXO 1 PLANOS.....	58
ANEXO 2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROGRAMA RESIXP.....	59

RESUMEN

El presente trabajo propone un modelo geoelectrico para el área ubicada en el valle de Lagunillas, municipio de Huimilpan, estado de Querétaro. Con la finalidad de obtener información suficiente para estimar si el acuífero de la localidad puede ser explotado para satisfacer la demanda de la ciudad de Querétaro.

Para esto se logró recabar información general, geográfica, geológica e hidrológica de la zona de estudio por lo que se tomo en cuenta toda la información obtenida para los diferentes objetivos a cumplir por este estudio.

Gracias a la realización de un pozo y su registro eléctrico a un costado del SEVLAG 404 se midieron los valores de resistividad normal larga y normal corta de la misma forma se obtuvieron muestras de canal del pozo y con los valores obtenidos del dicho SEV, se logro ajustar y correlacionar, por lo que a continuación se procedió a interpretar los 15 SEV's, restantes y correlacionarlos con dicha información. Se realizaron 6 perfiles con la información de los 16 SEV's, los cuales se interpretaron por medio del programa Resixp, así como del programa Surfer 7.0, y a su vez se realizaron las interpolaciones de los perfiles manualmente ya que el programa Surfer arrojó datos poco confiables.

Los resultados del análisis de la interrelación de los sondeos, dieron como resultado el modelo geoelectrico del valle . Principalmente se presentan seis capas geoelectricamente diferenciables, observándose claramente sus cambios de resistividades.

En este estudio se lograron cumplir los objetivos. Se identificaron las unidades características del Valle de Lagunillas, se localizo el basamento del acuífero y se propone un modelo geoelectrico de la zona de estudio, de la misma manera se logro correlacionar el registro eléctrico con las resistividades obtenidas de los diferentes SEV's y de esta manera calibrar cada uno de los datos y correlacionarlos con las muestras de canal.

El resultado de este modelo indicara si la zona tiene o no posibilidades de compartir agua al valle de Querétaro.

CAPITULO I *INTRODUCCIÓN*

En los últimos años y a nivel mundial se aprecia una gran actividad en el uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos, la conveniencia de establecer un seguimiento sistemático y periódico de los estudios geohidrológicos ha demostrado resultados muy satisfactorios, los cuales, tienen la finalidad de afinar y actualizar el conocimiento. Específicamente el estado de Querétaro y su ciudad capital, en los sectores urbano, industrial, agrícola y a partir de la creación de corredores industriales en el año de 1970 se presenta una sobre explotación del recurso, llegando en estos momentos a que su disponibilidad esté siendo explotada a gran escala. En las dos ultimas décadas, la demanda de agua subterránea de buena calidad se incrementó rápidamente y en consecuencia aumentó la cantidad de fuentes a explotar. Uno de los resultados es que muchas de las fuentes están siendo sobre explotadas a través de relaciones de extracción ya no sustentables (mayores de 130 m de profundidad y abatimientos de hasta 5 m por año). El descenso acelerado de los niveles del agua subterránea está provocando un deterioro ecológico y una subsidencia del terreno, no controlable que está afectando ya a la infraestructura urbana.

Ante esta problemática se están buscando fuentes de abastecimiento alternas y viables que soporten el alto crecimiento poblacional e industrial que presenta la ciudad de Querétaro. La primera alternativa es la más recomendable pero la menos costeable económicamente, sería utilizar un sistema de plantas tratadoras de aguas residuales que reutilicen la mayor cantidad de agua de la ciudad de Querétaro.

La segunda alternativa es investigar cual es la situación que guarda el agua subterránea en las zonas aledañas al Valle de Querétaro, lo que da la pauta para definir el comportamiento futuro de los acuíferos y su potencialidad como fuente de abastecimiento, y sobre todo, contar con los elementos técnicos necesarios para apoyar la reglamentación, el saneamiento de la cuenca así como el de proponer acciones correctivas en los lugares donde se presente una posible contaminación o hundimientos diferenciales en el terreno.

La tercera alternativa es crear un sistema de presas aledañas y conducir el agua a la ciudad .

Como cuarta alternativa se propone reubicar la zona industrial cercana a lugares de represas que garanticen el acopio de agua.

Referente a la segunda alternativa, se propone en esta tesis el estudio del Valle de Lagunillas Municipio de Huimilpan en el estado de Querétaro, el cual abarca una superficie de 19 km² en una zona plana y alta, en la porción sureste a 20 km de la ciudad de Querétaro. Previo a poder dictaminar si existe el potencial de agua subterránea suficiente para poder exportarla, es necesario hacer una evaluación de la disponibilidad del recurso, conocer cuáles son las necesidades de ésta en el sitio donde se encuentra y con base en los requerimientos de las poblaciones afectadas, a presente y futuro, poder decidir si es factible exportar un cierto volumen excedente para la ciudad de Querétaro.

La evaluación que se propone involucra actividades de recopilación, reconocimiento hidrogeológico, exploración geológico-geofísica, interpretación e integración de la información. Las constantes y periódicas mediciones realizadas en campo así como la integración y depuración de la información existente son la base para inferir a corto y largo plazo diversas políticas de uso en diferentes horizontes de tiempo, así como en distintas regiones del país.

En este trabajo únicamente se hará un análisis de las condiciones que se presentan el subsuelo, tales como el probable espesor acuífero y características estructurales de la zona, apoyadas con información de dos campañas de exploración geofísica que integran un total de 16 sondeos eléctricos verticales en la modalidad Schlumberger con aberturas AB de 1000 y 1500 m.

1.1 ESTUDIOS PREVIOS.

Los estudios más importantes de esta localidad han sido realizados por el Gobierno del Estado de Querétaro a través de la Comisión Estatal de Aguas, ha efectuado hasta la fecha una serie de estudios geohidrológicos enfocados a cuantificar y evaluar los principales parámetros que definen el funcionamiento hidráulico de sus acuíferos.

En su conjunto los estudios realizados en Querétaro cubren una superficie aproximada de 5,500 km² equivalente al 48% del Estado y al 90% de la zona hidrológica más importante, en esta superficie se localizan los principales núcleos poblacionales y de producción agrícola del Estado.

La información con la que en la actualidad se cuenta podría volverse obsoleta en caso de no otorgarle un seguimiento permanente, ya que un acuífero se considera como un sistema dinámico, el cual necesita la constante actualización de datos.

La zona de Lagunillas ha sido evaluada y se ha llevado un seguimiento de sus condiciones hidrogeológicas de 1990 a 1996, por la Comisión Estatal de Aguas. En el año de 1993 se consideró a esta zona como posible fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Querétaro.

Los estudios existentes realizados anteriormente son; “Estudio Geohidrológico Integral del Valle de Querétaro y sus alrededores, para el Manejo Automatizado de los Recursos Hidráulicos Subterráneos”, realizado en 1990, “Evaluación Geohidrológica de los Valles de El Milagro, (la cual se encuentra muy cerca de la localidad estudiada) ubicado en los Municipios de Villa Corregidora y Huimilpan, Qro.” 1993, así también “Actualización Hidrogeológica del valle de Querétaro, 1996. Mas recientemente el “Estudio de Factibilidad Hidrogeológica en la Comunidad de Lagunillas, Mpio. De Huimilpan, Qro, 2002.

Estos estudios han permitido conocer el comportamiento del subsuelo de la zona de Lagunillas, Qro., la cual presenta información interesante para desarrollar una evaluación geofísica, la cual definirá el modelo geoelectrico de dicha zona y que sirva de apoyo en la cuantificación del potencial geohidrológico de la localidad y sobre todo ver si los datos obtenidos en las diferentes campañas son equivalentes.

1.2 OBJETIVOS:

- Identificar las unidades geológicas que se encuentran en la zona de Lagunillas, Qro.
- Conocer las bondades de la técnica del Sondeo Eléctrico Vertical, del Registro Geofísico de Pozo y correlacionar los resultados.
- Definir el modelo geoelectrico del acuífero que se localiza en la zona de Lagunillas, Qro.
- Identificar el espesor de roca que contiene agua y su arreglo estructural económicamente explotable.
- Identificar las zonas más favorables para extraer agua del subsuelo y dictaminar de acuerdo a los resultados, la factibilidad de exportar volúmenes de agua a la ciudad de Querétaro.

1.3- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

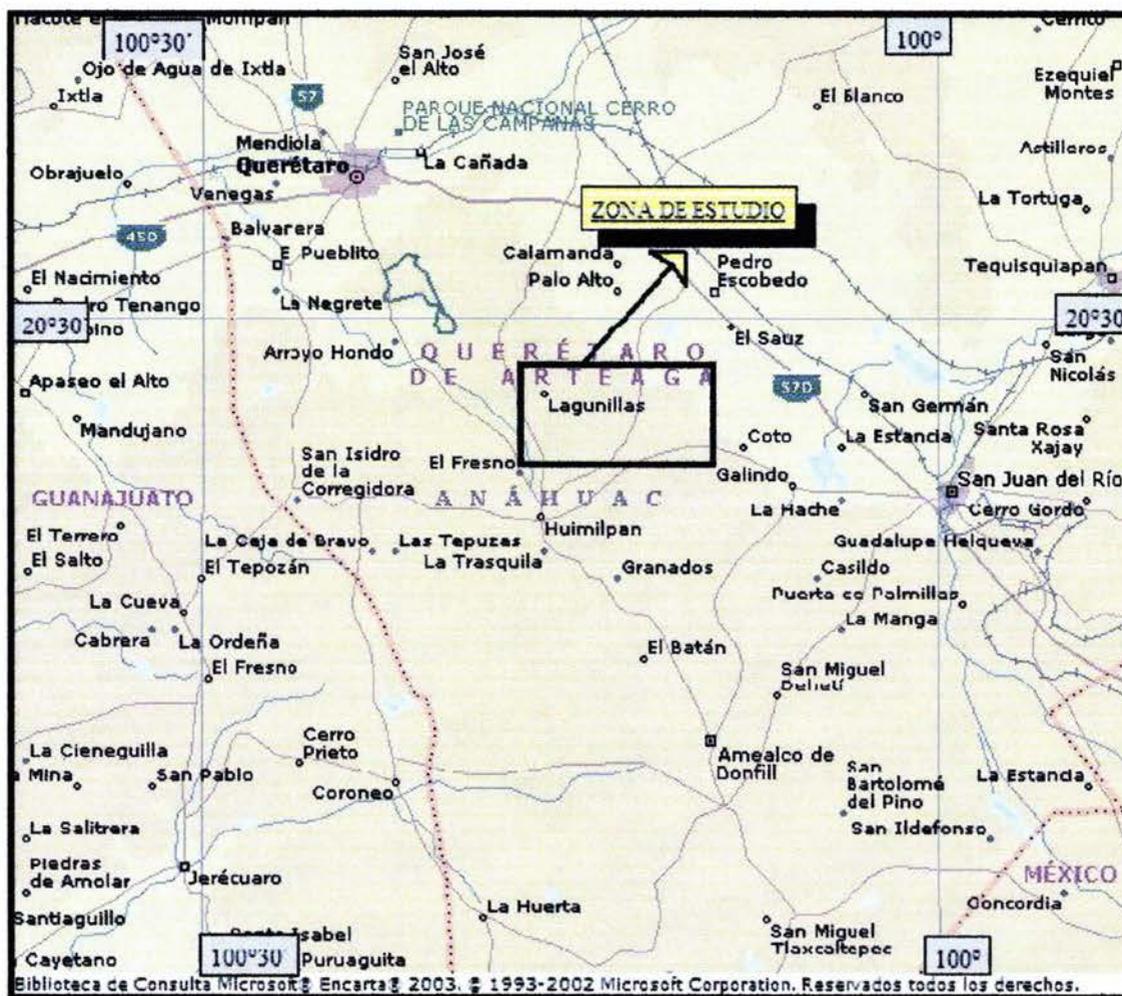


FIG. 1- ÁREA DE ESTUDIO (Tomado de enciclopedia Encarta 2003)

El área de estudio se ubica entre las coordenadas geográficas $100^{\circ} 15'$ a $100^{\circ} 20'$ de longitud Oeste y $20^{\circ} 27'$ a $20^{\circ} 29'$ de latitud Norte, cubriendo una superficie aproximada de 25 km^2 .

Las principales localidades que se encuentran en los alrededores de la comunidad son: El Fresno, Paniagua, La Haciendita, Las Lupitas, Guadalupe Primero, La Purísima, Santa Teresa, Los Cues, El Zorrillo y Puerta de Tepozán.

En la cartografía de INEGI, la zona se encuentra en la Carta Topográfica con el nombre “La Estancia” F-14-C-76, escala 1:50,000; y en el Condensado Estatal de INEGI; “Querétaro”, escala 1:250,000.

Para llegar al sitio se parte de la ciudad de Querétaro tomando la carretera que lleva a Huimilpan, de la Central Camionera rumbo al Sur y a 20 km en carretera, se toma un camino de terracería de 2 km que conducen al centro de la población de Lagunillas.

CAPITULO II MARCO GEOGRÁFICO-GEOLÓGICO

2.1 HIDROGRAFÍA



FIG. 2- HIDROGRAFIA (Tomado de INEGI, 2002)

La localidad de estudio pertenece a la región hidrológica conocida como la Cuenca del Río La Laja, la cual comprende 2,243 km² en el estado.

Aguas Superficiales:

La red hidrográfica se encuentra integrada por una serie de arroyos intermitentes que se generan principalmente en las zonas montañosas. Los escurrimientos más importantes son los del río Huimilpan, el cual se localiza al Sur-Oeste de la localidad, el río Hondo localizado al Oeste de la zona de estudio, el río Carranza y el Florido que se localiza al oriente y centro de la localidad. De la misma forma se localizan algunos almacenamientos importantes de agua pero relativamente no se encuentran cerca de la localidad como lo son: Las presas del Batán, El Fresno y algunos Bordos de menor capacidad, distribuidos generalmente al suroeste.

Aguas Subterráneas:

Los acuíferos libres y/o confinados de la zona de estudio están constituidos por rocas ígneas extrusivas basálticas y riolíticas, son restringidos a zonas fracturadas y en ciertos tramos por intercalaciones piroclásticas.

La permeabilidad que se presenta generalmente es de alta a media. El agua que se obtiene de estos acuíferos es generalmente de buena calidad.

La importancia hidrogeológica de la región es relativamente media a baja.

Todo lo anterior se sustenta con la Sinopsis Geohidrológica del estado de Querétaro, de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos Subsecretaria de infraestructura hidráulica, plano (1988).

2.2 FISIOGRAFÍA.

El área de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica denominado Eje Neovolcánico. Se caracteriza por eventos volcánicos de muy diferentes edades y composiciones petrológicas diversas que conforman el paisaje de la zona, caracterizándose por una planicie topográficamente alta rodeada en su parte oriente, poniente y sur por valles bajos.



FIG. 3- FISIOGRAFÍA (Tomado de INEGI, 2002)

La Sierra en que se ubica la zona de estudio se denomina Sierra de Huimilpan conformada por una topografía de laderas tendidas con pendientes moderadas a escarpadas, compuestas por rocas volcánicas de tipo andesita, basalto y tobas ignimbríticas.

2.3 CLIMA.

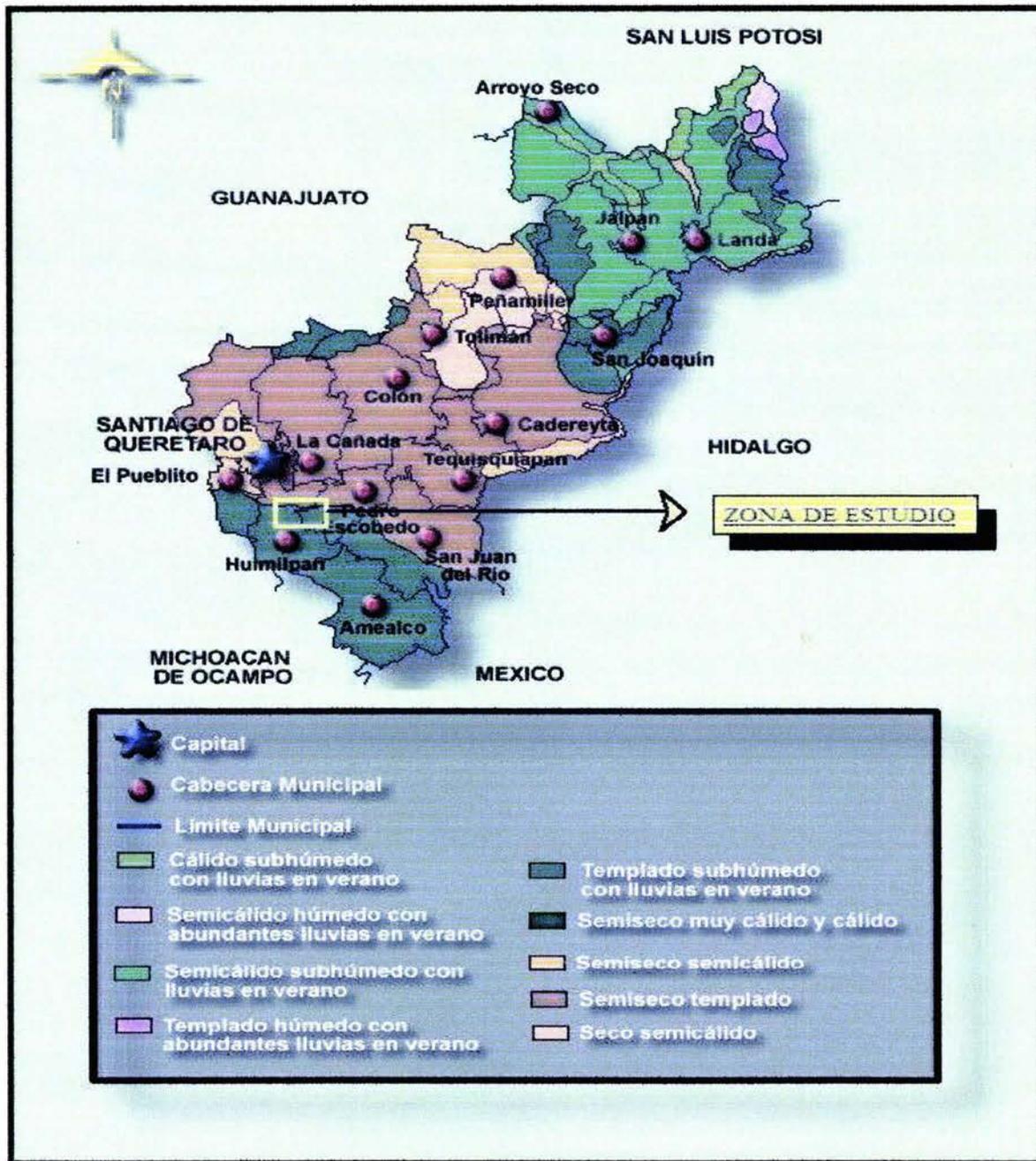


FIG. 4- CLIMA DE LA REGIÓN. (Tomado de INEGI, 2002)

La localidad de Lagunillas se encuentra en el límite de dos tipos de climas dominantes en la región, los cuales son: semiseco templado y semiseco muy cálido. Lo cual se ejemplifica en la FIG. 4.

Las mayores lluvias se presentan en verano y las mínimas en invierno, con una precipitación media de 650 mm anuales y la temperatura media es de 19° C.

2.4 Vegetación, y Tipo de Suelo.



FIG. 5- VEGETACIÓN. (Tomado de INEGI, 2002)

La cubierta vegetal se distribuye de la siguiente manera en la localidad: predominan las tierras de cultivo, en donde se cosecha maíz, frijol, trigo, alfalfa y cebada, entre otros; La vegetación predominante corresponde a la agricultura de temporal, también se ubican

matorrales y arbustos submontañosos y desérticos muy pequeños, se presentan pastizales pero en general son poco abundantes. El tipo de suelo predominante es del tipo Litosol pélico-vertisol de textura fina en sus primeros 30 cm de espesor.

2.5 VÍAS DE COMUNICACIÓN.

El acceso a esta zona se realiza por carreteras bien pavimentadas como lo es la carretera que une la ciudad de Huimilpan con la ciudad de Querétaro. De la misma forma si se accede de la ciudad de México se llega por la carretera numero 57. La población de Lagunillas, cuenta con líneas de energía eléctrica, además, cuenta con comunicación vía telefónica y correo.

2.6 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La población de lagunillas tiene un alto porcentaje de analfabetismo, aproximadamente el 80% de su población no sabe leer ni escribir. Cuentan con energía eléctrica sólo el 30% de sus habitantes y agua entubada el 90%, de la misma forma gozan de drenaje el 70% de su población.

Su tasa promedio de crecimiento es del 1.9% en la localidad, presentándose una gran migración hacia los Estados Unidos de Norte América. El 25% de sus habitantes hablan alguna lengua indígena.

2.7 GEOLOGIA DE LA LOCALIDAD DE ESTUDIO.

En la localidad se observa la presencia de fuertes espesores de tobas líticas, vítreas y vitocristalinas, con variaciones laterales, texturales y mineralógicas. Frecuentemente se intercala con algunos derrames basálticos andesíticos y brechas volcánicas de poca extensión y espesor. Estas se encuentran aflorando en toda el área de estudio, en paquetes de espesores que van de 10 a 250 m y cubriendo en forma discordante a las rocas basales andesíticas.

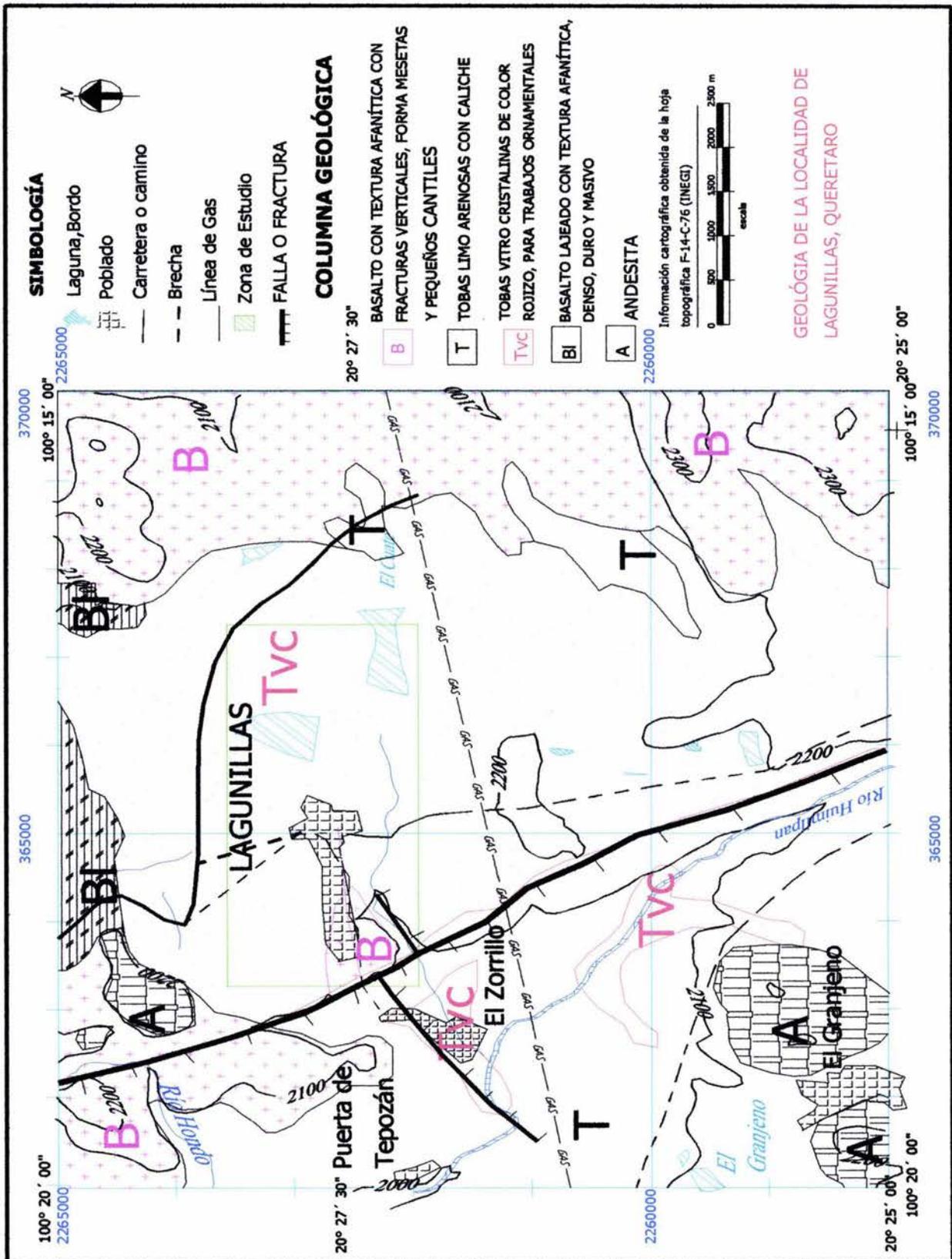


FIG. 6- GEOLÓGIA LOCAL

De forma general se distinguen varios eventos como son las tobas arcillosas, localizadas sólo a profundidad en las inmediaciones de Lagunillas. Se encuentran tobas vitocristalinas y tobas riolíticas, como se puede observar en la FIG.6, las cuales afloran en las mesas de la localidad. Su composición es vítrea de naturaleza ácida y textura piroclástica.

2.8 GEOLOGÍA HISTÓRICA.

La historia geológica del área de estudio se desarrolló a partir de los periodos volcánicos bien diferenciados, que conforman el marco geológico desde el Paleoceno.

Anteriores al Paleoceno sólo afloran rocas más antiguas en el extremo norte del área que cubren menos del 2% del total.

Durante el Jurásico Superior el área se encontraba en un ambiente de depósito de talud. Un evento producido por tectonismo local asociado a un antiguo arco magmático, el cual genera depósitos vulcanosedimentarios y esquistos de la formación San Juan de la Rosa.

En el Cretácico Medio se presenta un ambiente de plataforma de poca profundidad con bastante actividad volcánica, depósito de los sedimentos calcáreos de la formación Peña Azul.

A finales del Mesozoico se producen una serie de plegamientos ocasionando el retroceso de los mares, así como fracturamiento y fallamiento inverso. Este ambiente de esfuerzos compresivos se relaciona con la Orogenia Laramídica. Aún en los inicios del Terciario persisten estas condiciones.

A finales del Eoceno el área se encuentra en una aparente estabilidad tectónica, misma que es preámbulo a los esfuerzos distensivos del Oligoceno que dieron lugar a la formación de un sistema de fallas regionales orientadas NW-SE. Estos eventos se asocian con rocas de carácter intermedio y básico del oligoceno (andesíticas y estructura brechoide).

2.9 RASGOS ESTRUCTURALES.

El conjunto de estructuras volcánicas características de la región, se conformó sobre un paleorrelieve constituido por las rocas sedimentarias del Mesozoico, plegadas, correlativas con las que afloran en la Sierra Madre Oriental.

La evolución de los fenómenos volcánicos propició el cierre de algunas cuencas que fueron azolvadas con aportes volcanoclásticos, los cuales litológicamente tienen características de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y por lo tanto aparecen estratificadas. Las fases neotectónicas distensivas, asociadas con fenómenos volcánicos recientes, han contribuido a la formación de los rasgos del relieve de esta entidad, pues el fallamiento normal y el fracturamiento son los principales controles de sus incipientes patrones de drenaje.

En la porción Oeste del Valle de Lagunillas se presenta la falla Querétaro con una dirección preferencial NW-SE. La zona de estudio se encuentra en el bloque levantado.

2.10 GEOLOGÍA ECONÓMICA

Se explotan rocas volcánicas como el basalto y las tobas vítreas, que son utilizadas en la obtención de materiales para la construcción y para ornamento.

2.11 EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA.

En el Valle de Lagunillas se encuentran 5 pozos, de los que se cuentan los siguientes datos de pozos:

NUM. POZO	LATITUD	LONGITUD	AÑO PERF.	USO	TIEMPO BOMBEO (días)	CAUDAL (lpa)	PROF. TOTAL	VOLUMEN ANUAL (M³)
1603	2262425	354575		AGRICOLA	150	30		388,800
1604-A	2262225	365000		AGRICOLA	150	60		777,600
1938	2261960	367240		AGRICOLA	210	20		362,880
1994	2260300	366550	1987	AGRICOLA	180	60	180	933,122
1604	2262225	365000		INACTIVO				
TOTAL								2,462,400

TABLA NO. 1-INFORMACIÓN DE POZOS

Para esta zona la información piezométrica e hidrométrica es reducida ya que no existe un seguimiento sistemático de la misma en los años pasados, no obstante se plantea como ecuación general de balance:

$$E - S = \Delta v \cdot s$$

Donde:

E = Entradas Totales

S = Salidas Totales = Bombeo

Δv = Cambio de Almacenamiento

s = Coeficiente de Almacenamiento

El análisis de los resultados se exponen a continuación:

E \Rightarrow En este caso se agrupa a todas aquellas aportaciones de agua que sirvan para recargar el acuífero; como son la recarga por flujo subterráneo horizontal, la recarga vertical por infiltración directa y la de retornos por riego. Estos dos últimos se consideran que pueden ser los de menor peso ya que la superficie de infiltración es pequeña. En virtud de que no se cuenta con una configuración bien fundamentada de la elevación del nivel estático para un año, así como el carecer de valores de transmisibilidades por lo que el parámetro de Entradas subterráneas, se tomo como una incógnita dentro de la ecuación de balance.

S \Rightarrow La principal fuente de descarga del acuífero que se observa, las forman los volúmenes de extracción por bombeo. Estos se inician a partir del año de 1985 con la perforación de los pozos 1603 y 1604, posteriormente se incrementa en 1987 con el pozo 1938 y en 1990 con el pozo 1994. Todos ellos extrajeron un caudal de 2.462 millones de metros cúbicos en el año de 1992. En el supuesto de conservarse un caudal y origen en extracción similar durante todos los años pasados, el volumen de extracción acumulado sería:

AÑO	NÚMERO DE POZOS (Acumulados)	VOLUMEN DE EXTRACCIÓN (MILLONES DE METROS CUBICOS)
1985 - 1986	2	1,166,400
1987 - 1989	3	1,529,280
1990 - 1992	4	2,462,400

TABLA NO. 2-CRECIMIENTO EN EL NÚMERO DE POZOS EN LA ZONA.

El año con información hidrométrica confiable y completa es 1992, por lo que se empleo dicho valor en la ecuación de balance.

$\Delta v \Rightarrow$ La distribución de datos piezometricos en esta zona es escasa. Sólo se localizan dos pozos que permiten reconstruir la historia y evolución de los niveles estáticos. Por un lado el pozo 1994 fue perforado en el año de 1987, en esa fecha el nivel estático se localizó a 113.45 m, para julio de 1993 el nivel se encuentra a 117.96 m, de lo anterior se calcula un descenso total de 4.51 m, con abatimiento promedio de 0.75 m por año. El otro pozo con historia es el 1603; el nivel reportado en el año de 1985 era de 108.0 m, para Julio de 1993 se encuentra a 116.55 m, el descenso total es por tanto de 8.55 m en ese período, con promedio anual de 1.06 m.

El promedio anual de abatimiento para ambos pozos es de 0.91 m, dicho valor es el que se tomó para el cálculo promedio anual de cambio de almacenamiento, es decir:

Cambio de almacenamiento $\Delta v =$ Abatimiento promedio * Superficie de Balance

$$\Delta v = 0.91 \text{ (m)} * (18.514 * 10^6 \text{ (m}^2\text{)})$$

Por lo que el cambio de almacenamiento o volumen drenado promedio anual es:

$$\Delta v = 16,847,720 \text{ m}^3$$

Este valor se empleo en la ecuación de balance ya que es promedio de un periodo de tiempo más largo y más representativo. Por tratarse de una evolución negativa el signo del mismo será negativo.

s \Rightarrow Este parámetro en las ecuaciones de balance se considera, como una de las incógnitas y junto con el parámetro de recarga, resuelve el sistema cuando se tienen dos periodos de balance. En el caso del Valle de Lagunillas, solo se dispone de un periodo de balance, dado que solo existen cinco captaciones y el acervo de su historia piezométrica e hidrométrica es escasa. Por otra parte, no se cuenta con datos puntuales del valor de este coeficiente por interpretación de pruebas de bombeo, ya que solo se tuvieron dos pruebas y un aforo no interpretable. Por lo anteriormente expuesto y con el fin de obtener el valor de la recarga en este valle, se tomó la decisión de manejar un valor dado del coeficiente de almacenamiento con el fin de resolver la ecuación. De acuerdo a las características físicas del acuífero que constituye un medio preponderantemente fracturado se optó por asignarle un valor de 0.035 equivalente a la mitad del acuífero del valle de Querétaro que está conformado tanto por rocas porosas como por medios fracturados.

Una vez calculados los parámetros que de acuerdo con la información disponible se pudieron obtener, se sustituyeron en la ecuación originalmente propuesta:

$$\Delta v * s = E - S$$

Por lo tanto:

$$-16,847,740 * 0.035 = E - 2,462,400$$

donde E es:

$$E = 1,872,729$$

El volumen deficitario que existe es de:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = - 589,670 \text{ m}^3$$

Es decir que su relación de entradas sobre salidas es de:

$$\frac{\text{Entradas}}{\text{Salidas}} = \frac{1,872,729}{2,462,400} = 0.76 \quad \text{ó} \quad 76 \%$$

Existe por lo tanto un déficit del 24 % del volumen de entradas contra salidas de aguas subterráneas.

La zona se compone de terrenos ejidales donde las necesidades de agua para uso agrícola tienden a incrementarse, por lo que se puedan llevar a cabo nuevas perforaciones

que acrecenté el déficit, disminuyendo el potencial acuífero aún a plazos de tiempo muy cortos y por lo tanto el aprovechamiento para agua potable.

2.12 MODELO PRELIMINAR.

De acuerdo a todo lo anterior se puede estimar que la forma en que se comporta el subsuelo es totalmente en un ambiente ígneo. De acuerdo a la geología del lugar y con la información obtenida de pozos en la localidad, se puede estimar que en el área de estudio, se encuentra un primer horizonte de tobas vitocristalinas, una segunda capa de basalto con diferentes tipos de derrames o lentes, subyaciendo esta se encuentra una capa de tobas arcillosas, finalizando con un horizonte de toba riolítica. Como el que se observa en la FIG. 8. Tomando en cuenta el ambiente ígneo, en el cual se presentan eventos de diferentes magnitudes y variaciones por lo que es importante hacer notar que este es un modelo preliminar y que posiblemente tenga cambios radicales, dependiendo de la respuesta del registro geofísico y de los Sondeos Eléctricos Verticales realizados en la zona de estudio. Por otra parte la ubicación de los sondeos y su dirección de extensión jugaron un papel muy importante en la obtención e interpretación de la información, sobre todo por la presencia de la falla Querétaro, la cual puede alterar el comportamiento de las curvas de resistividades aparentes.



FIG. 7- SECCIÓN GEOLÓGICA LOCAL TEÓRICA

CAPITULO III
MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS.

3.1 -METODOLOGÍA Y EQUIPO EMPLEADO

La técnica geoelectrica empleada fue la del Sondeo Eléctrico Vertical con arreglo Schlumberger a aberturas AB/2 a 1,000 m para la realización de 4 de los 16 SEV, y los siguientes doce cuentan con aberturas AB/2 de 1500 m. El resultado de esta campaña son las resistividades aparentes de 16 sondeos, los cuales son analizados e interpretados en este estudio.

Es importante resaltar que esta información se obtuvo de la bitácora de la compañía que realizó los SEV's, para la integración de este trabajo. Personal de esa compañía realizó un recorrido en la zona de estudio con la finalidad de observar la geología del lugar y ubicar los puntos ideales para la realización de los Sondeos Eléctricos Verticales. (De la misma forma para corroborar estos datos fue necesario acudir a la comunidad de Lagunillas, y realizar nuevamente el levantamiento geológico de la localidad el cual está reflejado en este trabajo en el capítulo de geología). Con base en lo anterior, se programó la ejecución de 16 sondeos eléctricos verticales, cuya localización se observa en la FIG. 12.

El equipo empleado, fue un transmisor de corriente marca Scintrex, modelo IPC/7 con potencia de 2.5 Kw y un receptor modelo IPR-10, (como se muestra en la FIG. 8), además, un motor generador de 8 H.P, cable conductor, electrodos de corriente y potencial, así como radios de intercomunicación tipo Walkie Talkie.

Ubicado el punto del sondeo, se procedió a determinar el centro del mismo, colocando una barra de acero que sirvió también para tensar los cables de corriente eléctrica. Durante la obtención de los datos se cuidó de la correcta eliminación del potencial espontáneo natural en los electrodos de potencial para cada medición. Una vez eliminado este efecto se procedió a realizar la inyección de la corriente eléctrica y medir el voltaje, calcular la resistividad y colocar el valor obtenido en un papel bilogarítmico. Lo anterior se realizó con el objeto de cuidar el comportamiento y calidad de las curvas de campo. En caso de tener duda o existir una anomalía en el valor calculado se repitió la lectura.

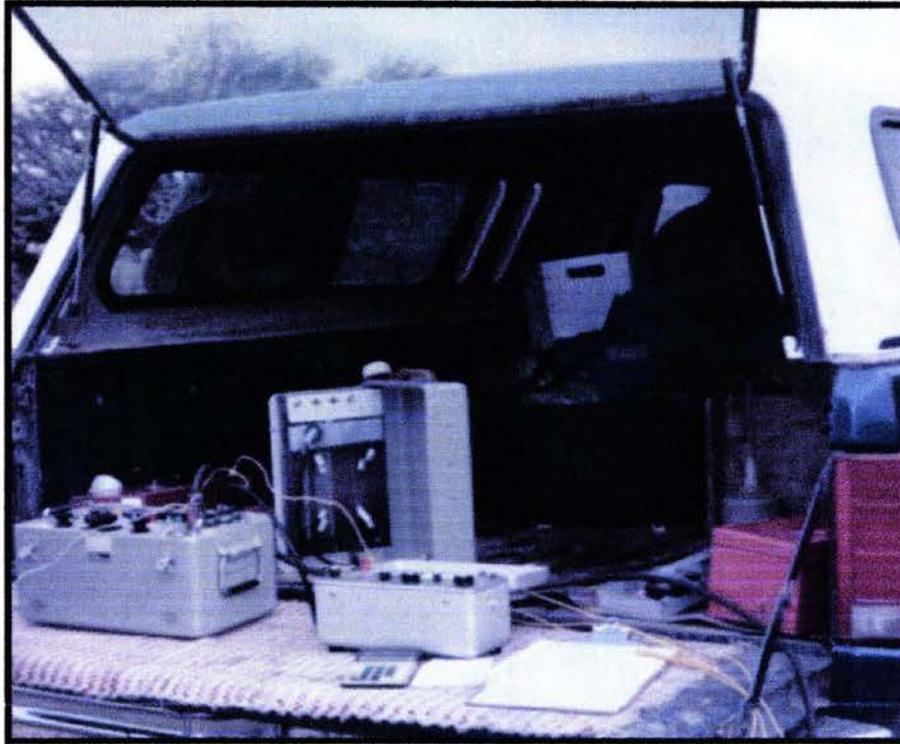


FIG. 8 -EQUIPO EMPLEADO PARA LOS SEV's.

Un aspecto que se tomó muy en cuenta fue el cuidar la relación $AB \geq 5MN$. En caso de que la diferencia de potencial fuera menor a la unidad se procedió a realizar el empalme correspondiente, es decir, tomar lecturas dobles de resistividad aparente, de cuando menos dos semiaberturas de los electrodos de corriente, para dos aberturas de electrodos de potencial. Las aberturas MN empleadas fueron de 2, 10, 20 y 40 m.

Para la interpretación de datos obtenidos de los sondeos, se procedió a reelaborar las curvas de campo, así como las tablas con los datos obtenidos. Se digitalizaron las curvas y se hizo uso del programa de interpretación RESIXP. Una vez obtenidos los datos de espesor y resistividad se procedieron a calibrar los valores teóricos con los datos de campo, para esto se tomó como criterio que no debía de exceder el error en 10%, (aunque se sabe que algunos modelos pueden exceder este porcentaje de error y ajustarse al modelo propuesto), ya que de esta manera podemos tener mas certeza de que el modelo geoelectrico es el adecuado y más confiable.

3.2 FUNDAMENTOS DE LOS SEV.

En la prospección eléctrica se hace uso de tres propiedades fundamentales de las rocas. Una es la resistividad o inversa de la conductividad que condiciona la cantidad de corriente que atraviesa por una roca. Otra es la actividad electroquímica respecto a los electrolitos presentes en el suelo y que es la base de los métodos de potencial. La tercera es su constante dieléctrica, que informa de la capacidad de un material lapídeo para almacenar una carga eléctrica.

Los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) funcionan de la siguiente manera: supóngase que en la superficie del terreno se ha situado un dispositivo tetrapuntual simétrico AMNB. La magnitud de la resistencia aparente de este dispositivo depende de cómo estén distribuidas en el semiespacio inferior las rocas de diferentes resistividades y también de la posición relativa de las tomas de tierra de emisión y recepción, así como de la profundidad de penetración de la corriente en el terreno, que depende directamente de las distancias entre las tomas de tierra A y B. La mayor influencia en el valor de ρ_a , se presentó en las rocas que se encuentran en el centro de los electrodos de corriente, en el cual se distribuye la parte fundamental de está. Las rocas que se encuentran a una profundidad grande en comparación con la distancia entre las tomas de tierra de emisión prácticamente no influyen en la distribución de la corriente en la superficie del terreno y por consiguiente tampoco en el valor de ρ_a , pero algo que hay que tomar muy en cuenta y sobre todo en ambientes ígneos son los efectos laterales, los cuales se pueden presentar en forma de contactos laterales debido a los diferentes eventos volcánicos.

Sin variar la situación del centro del dispositivo, se aumenta la distancia entre las tomas de tierra de emisión, entonces la profundidad de penetración de la corriente en el terreno aumenta y como consecuencia de ello, empiezan a ejercer influencia en el valor de ρ_a en las rocas que se encuentran a mayor profundidad. Por consiguiente la medición de ρ_a con un dispositivo en el que se varía la distancia entre las tomas de tierra de emisión, para una posición invariable de su centro, permite estudiar la variación del corte geológico con la profundidad. El método descrito de estudio de la resistividad aparente tiene el nombre de Sondeo Eléctrico Vertical.

Los resultados de las observaciones de campo, se presentan en forma de curvas que relacionan la resistencia aparente con las distancias inter electródicas. La forma de las curvas de sondeo eléctrico vertical depende del número de capas horizontales que existen en el corte y de la relación entre sus resistividades y sus espesores.

Ecuaciones Generales

La ecuación general que rige el comportamiento del potencial eléctrico en la superficie del terreno, producto de una o varias fuentes o sumideros eléctricos invariantes en el tiempo, es en función de los valores de las resistividades verdaderas de la litología del subsuelo y se determina por medio de:

a) Ley de Faraday

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \dots\dots\dots(1)$$

b) Ecuación de continuidad

$$\nabla \cdot \bar{J} = -\frac{\partial q}{\partial t} \dots\dots\dots(2)$$

c) Ley de Ohm

$$\bar{J} = \sigma \cdot \bar{E} \dots\dots\dots(3)$$

Donde \bar{E} es el campo eléctrico dimensionado en volts/m

\bar{B} es la inducción magnética en webers

\bar{J} es la densidad superficial de corriente amperes/m²

σ es la conductividad en mhos/m

q es la densidad volumétrica de carga coulombs/m³

t tiempo en segundo

Como el campo eléctrico estudiado es estacionario, las variaciones respecto del tiempo se anulan y las tres ecuaciones anteriores se transforman en:

$$\nabla \cdot \bar{J} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Y como una corriente continua "I" es introducida mediante dos electrodos A y B, en un espacio semi-infinito, homogéneo e isotropico, como se muestra en la FIG. 9, se tienen las ecuaciones de Maxwell's:

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \dots\dots\dots(6)$$

La ecuación (4), se cumple excepto en donde se tienen los electrodos.

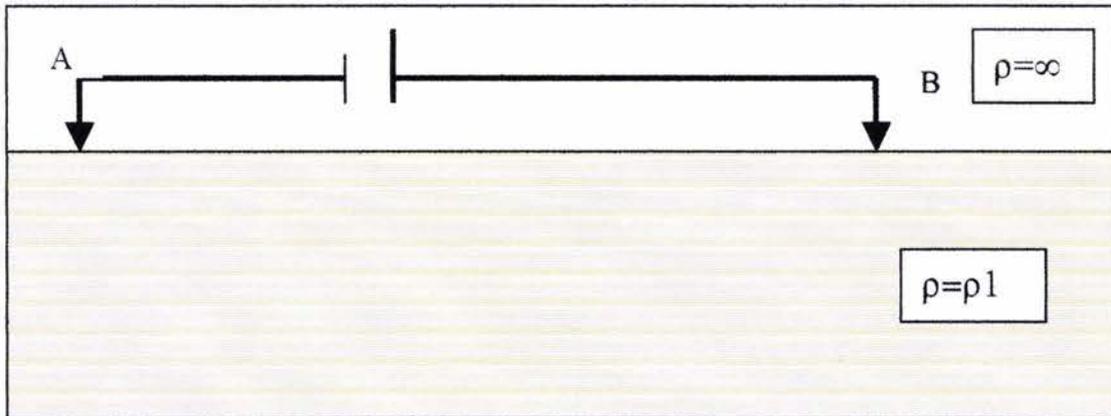


FIG. 9 - ESTRATO SEMI-INFINITO CON DOS ELECTRODOS. (SEARA 1977)

De la ecuación (5) se indica, que el vector campo eléctrico es conservativo o irrotacional y por lo tanto, el campo eléctrico puede ser expresado como menos el gradiente de un potencial escalar V:

$$\vec{E} = -\nabla U \dots\dots\dots(7)$$

Ahora combinando las ecuaciones (3) y (4) se obtiene:

$$\nabla \cdot \vec{J} = \nabla(\sigma \vec{E}) = 0 \dots\dots\dots(8)$$

Considerando que la conductividad es una constante

$$\nabla \cdot \vec{J} = \sigma \nabla \cdot \vec{E} = -\sigma \nabla(\nabla V) = \sigma \nabla^2 V = 0 \dots\dots\dots(9)$$

De las ecuaciones anteriores se deriva la ecuación de Laplace's

$$\nabla^2 V = 0 \dots\dots\dots(10)$$

La cual satisface todo el semiespacio, excepto en los electrodos y en las superficies de discontinuidad.

Expresión del Potencial para un Espacio de Mitad Homogéneo e Isotrópico

Considerando un hemisferio centrado en el electrodo de punto A, como se muestra en la FIG.10 y por la simetría, la densidad de corriente tendrá el mismo valor en todos los puntos sobre esta superficie, donde será direccionada radialmente. Por lo tanto la corriente viene expresada de la siguiente manera:

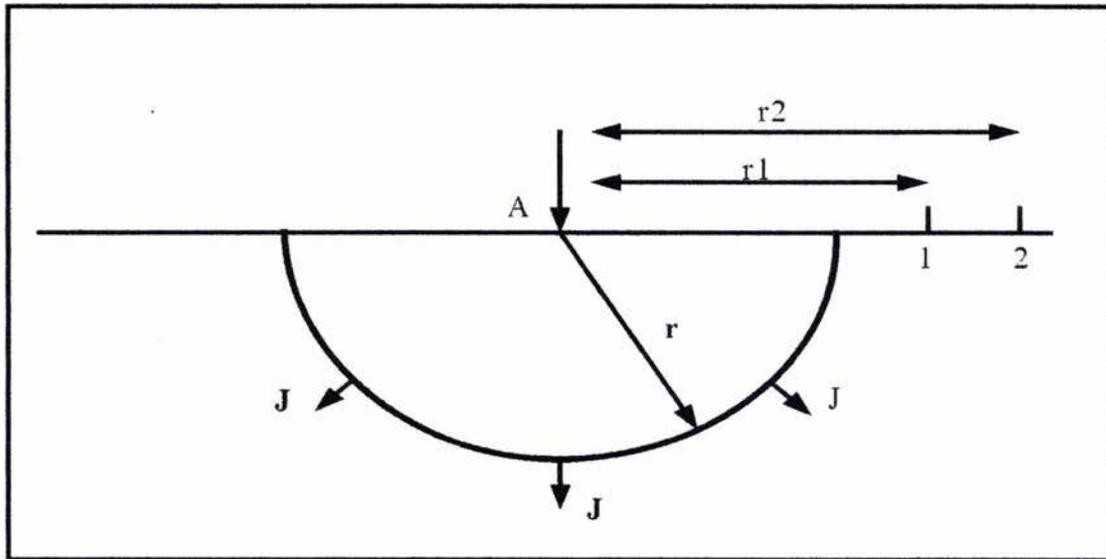


FIG. 10 - HEMISFERIO CENTRADO EN UN ELECTRODO. (SEARA 1977)

$$I = \int_s \vec{J} \cdot \vec{n} \, dA = J \cdot 2\pi r^2 \dots\dots\dots(11)$$

Considerando la ecuación (11) y la (3), resolviendo para el “E”

$$|E| = \frac{I}{\sigma \cdot 2\pi r^2} = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \dots\dots\dots(12)$$

La diferencia de potencial entre cualquiera de dos punto viene expresada por:

$$V_{1,2} = -\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{L} = -\frac{I\rho}{2\pi} \int_{r1}^{r2} \frac{dr}{r^2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r1} - \frac{1}{r2} \right) \dots\dots\dots(13)$$

Resistividad - Resistividad Aparente (obtención).

La unidad de resistividad en el sistema métrico decimal es el ohm-m. La intensidad I de la corriente está relacionada con el voltaje aplicado V , y la resistencia R . Partiendo de la ley de Ohm:

$$V = R \cdot I \dots\dots\dots(14)$$

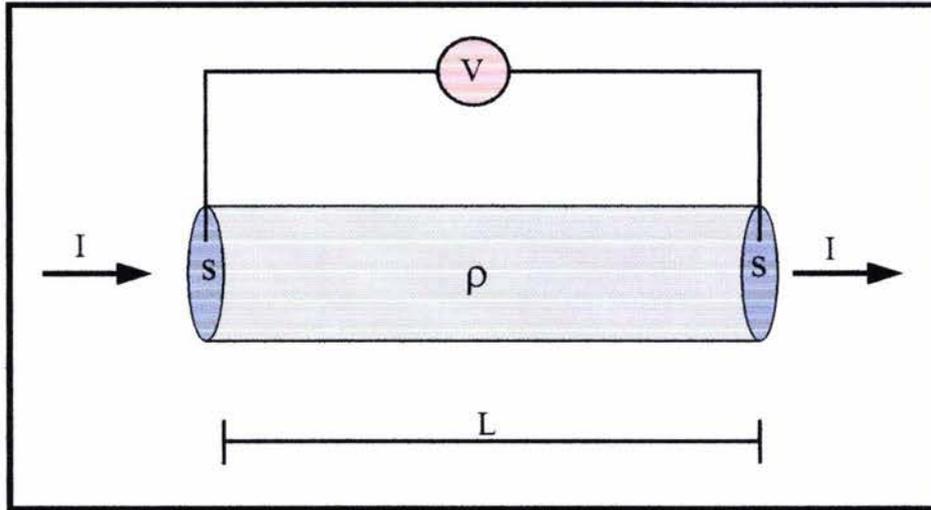


FIG. 11- CILINDRO UNITARIO

Y como las rocas pueden considerarse como medios de material aislante, en los que existe una red de conductos irregulares y tortuosos llenos de electrolitos, a los cuales se debe por completo la conductividad de conjunto. Si se toma un trozo de roca lo suficientemente grande para que sea representativo en este caso de forma geométrica cilíndrica como se muestra en la FIG. 11, con longitud "L" , sección "S" y la resistencia "R" expresada en ohms, por lo que la resistividad cuenta con unidades ohm.m. Experimentalmente se demuestra que la intensidad de corriente que atraviesa un cuerpo por unidad de sección es linealmente proporcional al gradiente de potencial ($\Delta V/\Delta L$) por lo que:

$$I = cte. Sección \cdot \frac{\Delta V}{\Delta L} \dots\dots\dots(15)$$

Simplificando esta ecuación:

$$I = \frac{\Delta V}{R} \dots\dots\dots(16)$$

Para pasar de (15) a (16), se ha llamado R (Resistencia eléctrica) a la expresión

$$R = \frac{1}{cte.} \cdot \frac{\Delta L}{S} \dots\dots\dots(17)$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \dots\dots\dots(18)$$

La expresión (18) nos indica que la Resistencia que opone un cuerpo al paso de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional a la sección. La constante de proporcionalidad lineal ρ es la resistividad, un parámetro característico de cada material. Y despejando a ρ se tiene:

Ahora para cualquier arreglo geométrico y suponiendo que se introduce una corriente de Intensidad I en el suelo en el punto A, como se muestra en la Fig. 12 y mediante la Ley de Ohm, se puede calcular la resistencia, R, que opone el paso de esa corriente por lo tanto:

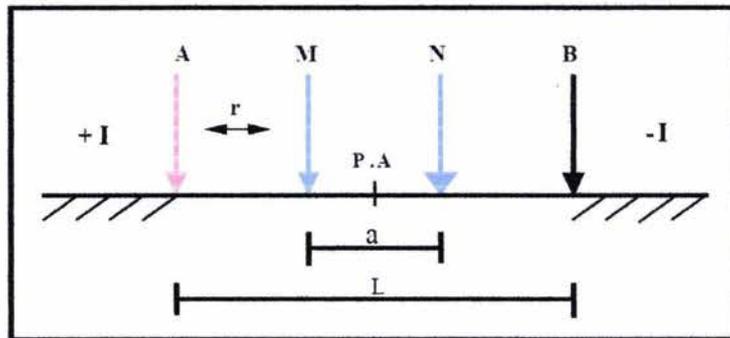


FIG.12-ARREGLO GEOMÉTRICO.

Aplicando la ecuación (17)

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = \rho \frac{dr}{2\pi r} \dots\dots\dots(19)$$

Aplicando la expresión (16)

$$-dV = R \cdot I \dots\dots\dots(20)$$

Y sustituyendo en (20) el valor de R por el obtenido en (18)

$$-dV = \rho \frac{dr}{2\pi r} \cdot I \dots\dots\dots(21)$$

integrando la ecuación (21) y resolviendo para (13):

$$V = \rho \frac{r \cdot I}{2\pi r} \dots\dots\dots(22)$$

Por convenio universal se toma como origen de potenciales un punto situado a distancia infinita de la fuente , por lo que se hallará el potencial calculando el lim cuando $r \rightarrow \infty$ que es:

$$V = \left(\frac{\rho}{2\pi \cdot r} \right) \cdot I \dots\dots\dots(23)$$

Como el potencial es magnitud aditiva, si son varias las fuentes, habrá que sumar algebraicamente los potenciales respectivos, de modo que:

$$V = \frac{\rho}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{r_i} \dots\dots\dots(24)$$

En donde el Potencial en un Punto M será igual al producido por el electrodo A menos el producido por el electrodo B, aplicando la expresión (23) se obtiene el potencial en un punto M y a continuación en un punto N como se muestra a continuación:

$$V_m = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{A_m} - \frac{1}{B_m} \right] \dots\dots\dots(25)$$

$$V_n = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{A_n} - \frac{1}{B_n} \right] \dots\dots\dots(26)$$

La diferencia de potenciales entre los puntos M y N para un arreglo de las características mostradas en la Fig. 12, esta dada por “ΔV” que es la diferencia de potenciales puntuales y es igual al factor geométrico “K”

$$\Delta V = V_m - V_n = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{1}{A_m} - \frac{1}{B_m} - \frac{1}{A_n} + \frac{1}{B_n} \right] \dots\dots\dots(27)$$

Pero:

$$\rho = K \cdot R \dots\dots\dots(28)$$

Y como en cualquier dispositivo, si se conocen las distancias mutuas entre los electrodos y se mide la intensidad de I que pasa por los electrodos A y B y la diferencia de potencial ΔV que, como consecuencia, aparece entre M y N, por consecuencia se podrá calcular la resistividad aparente ρ_a mediante la formula (24)

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(29)$$

En donde “K” es un coeficiente que depende únicamente de la geometría del arreglo electródico, cuyas dimensiones son de longitud. Si el medio es homogéneo la fórmula (29) dará como resultado la resistividad verdadera.

Por lo tanto:

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{Am} - \frac{1}{Bm} - \frac{1}{An} + \frac{1}{Bn} \right]^{-1} \dots\dots\dots(30)$$

Ahora sustituyendo la ecuación (28) en la (29) se tiene que la resistividad aparente es:

$$\rho_a = 2\pi \left[\frac{1}{Am} - \frac{1}{Bm} - \frac{1}{An} + \frac{1}{Bn} \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(31)$$

Para cualquier arreglo geométrico en los que los electrodos AMNB, se encuentran sobre una misma recta (Fig. 12) y las distancias A0 y OB son iguales, y sustituyendo los valores de las distancias consideradas de este arreglo, en la ecuación (31), se obtendrán las expresiones para la diferencia de potencial y para la resistividad aparente:

$$\rho_a = \frac{\pi}{4} \frac{(L^2 - a^2)}{a} \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(32)$$

$$\rho_a = -\pi \left(L^2 - \frac{a^2}{4} \right) \frac{\Delta V}{I \cdot a} \dots\dots\dots(33)$$

Ecuación para cualquier arreglo geométrico, válida para medios homogéneos e isótropicos.

Ahora para un arreglo tipo Schlumberger:

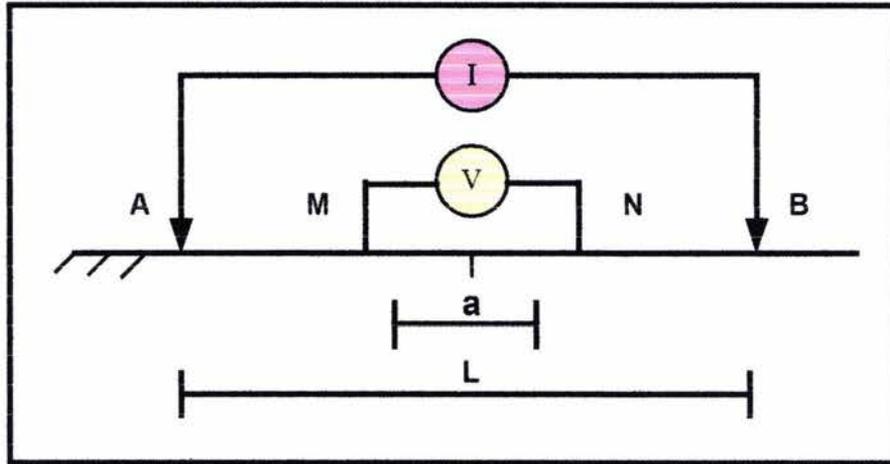


FIG. 13- MODELO SCHLUMBERGER

El arreglo denominado Schlumberger se trata en realidad de un dispositivo límite, la distancia "a" que separa los electrodos M y N tienda a cero. El segundo miembro de la ecuación (33) no tiende, a infinito, pues ΔV decrece al mismo tiempo que "a". Además:

$L > a$ y $a \rightarrow 0$ por lo tanto:

$$\rho_a = \lim_{a \rightarrow 0} \left(L^2 - \frac{a^2}{4} \right) \frac{\Delta V}{a \cdot I} \dots\dots\dots(34)$$

$$\rho_a = \frac{\pi \cdot L^2}{I} \cdot \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{a} \dots\dots\dots(35)$$

Pero como el: $\lim_{a \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{a} = E \Rightarrow$ Campo Eléctrico, por lo tanto:

$$\rho_a = \pi \cdot L^2 \cdot \frac{E}{I} \dots\dots\dots(36) \text{ Ecuación Teórica para un arreglo tipo Schlumberger}$$

Pero como igualmente: $E = \frac{\partial V}{\partial r} \Rightarrow$ Gradiente de Potencial y $r = a$, por lo tanto:

$$E = \frac{\Delta V}{a} = \frac{\Delta V}{I \cdot a} \dots\dots\dots(37) \text{ Por lo tanto al sustituir se obtiene:}$$

$$\rho_a = \pi \cdot L^2 \cdot \frac{\Delta V}{I \cdot a} \dots\dots\dots(38) \text{ Ecuación de Campo para un arreglo tipo Schlumberger}$$

$$\rho_a = \pi \cdot \frac{L^2}{a} \cdot \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(39)$$

pero como:

$$K = \pi \cdot \frac{L^2}{a} \dots\dots\dots(40) \text{ Factor Geométrico}$$

la resistividad aparente queda definida como:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(41) \text{ Resistividad Aparente en un Dispositivo Schlumberger}$$

La conductividad de un material se define por :

$$\delta = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(42)$$

que es la inversa de la resistividad.

Valores de resistividades:

La gama de resistividades de las rocas y materiales es enorme, pues se extiende desde 10^{-3} ohm/m hasta 10^{17} ohm/m. Las rocas y minerales con resistividades comprendidas entre 10^{-3} y 10 ohm/m son considerados como buenos conductores, en el intervalo de 10 a 10^9 ohm/m conductores intermedios, y de 10^{10} a 10^{17} ohm/m poco conductores.

La resistividad de materiales típicos e ígneos se define en la Tabla no. 3 a continuación:

Roca	Rango de resistividad ($\Omega \cdot m$)
Granito	5,000-1,000,000
Diorita	10^4
Gabro	$10^5 - 1.4 \times 10^7$
Arena y grava	600-10,000
Arcilla	10-100
Arcilla húmeda no consolidada	20
Suelo	1-10
Agua (sin sales)	3-100

TABLA 3- RESISTIVIDADES DE ROCAS IGNEAS

Actividad Electroquímica.

La actividad electroquímica depende de la composición química de las rocas, y también de la composición y concentración de los electrólitos disueltos en el agua del subsuelo.

3.3 - INTERPRETACIÓN GEOELÉCTRICA.

Se elaboraron 4 secciones de isorresistividad aparente en complemento con sus cortes geoelectricos (FIG. 14), además se realizaron dos secciones cruzadas en las cuales se proyectaron los SEV's que se encontraron a lo largo de las secciones, con la finalidad de obtener mas información, para llegar a un modelo geoelectrico más confiable del valle y con base en la información geológica superficial y del subsuelo se elaboró la sección geológica esquemática. Como herramienta para realizar el perfil y el corte geoelectrico se utilizó el programa Resixp y SURFER 7.0.

En la obtención de los datos de campo (FIG. 15), no se tomó en cuenta la topografía del lugar y por lo tanto no se tienen con exactitud la localización de los SEV's. Pero se consideró, que por tratarse de un valle no se tienen variaciones topográficas muy significativas, a pesar de que se sabe que los efectos topográficos abruptos causan dispersión de la corriente inducida cerca de la superficie del terreno provocando anomalías de conducción y por ende datos erróneos de resistividad aparente.

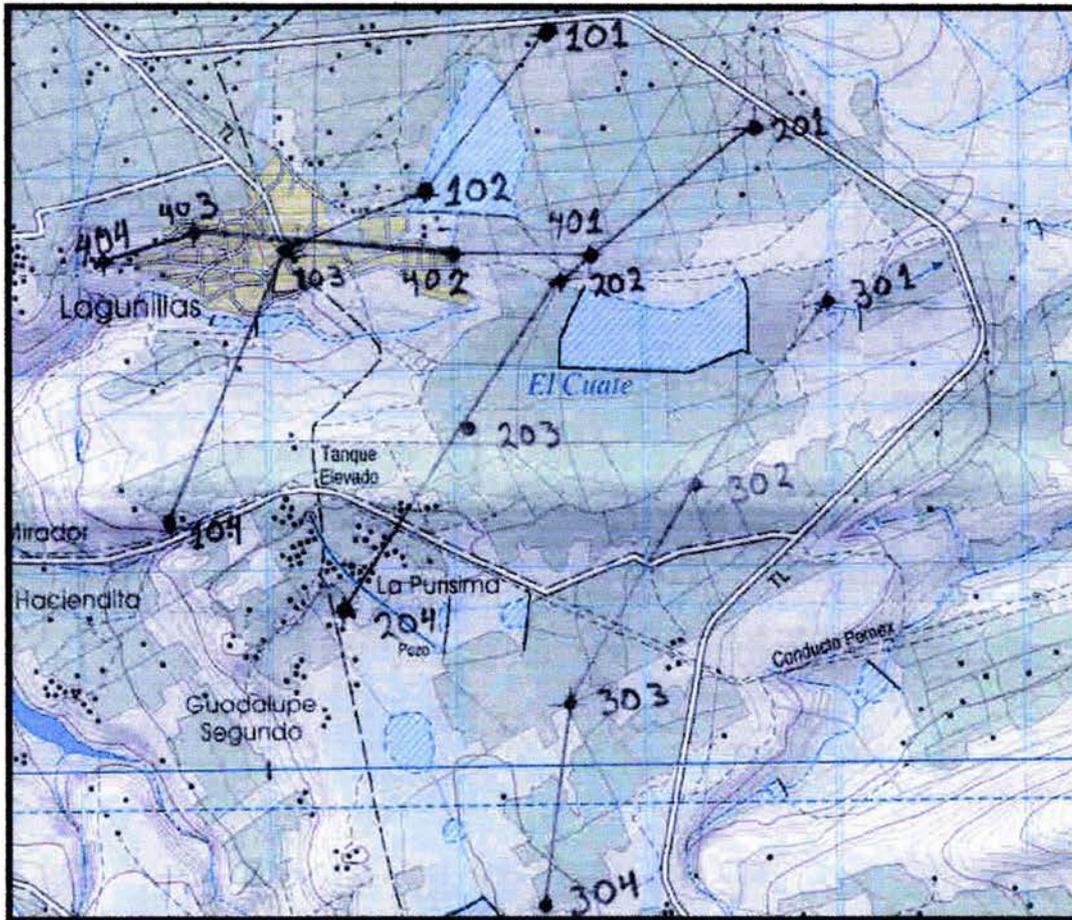


FIG. 14 -LOCALIZACIÓN DE LOS SEV's.

En campo se pueden tomar medidas para evitar los efectos topográficos, una de estas es elegir el rumbo de las líneas de medición para evitar cambios topográficos abruptos, reduciendo al mínimo con esto los cambios abruptos de topografía, y la segunda es que los datos obtenidos en campo pueden ser interpretado en el contexto de las distorsiones sabidas por variaciones topográficas. De hecho, el conocimiento detallado cuantitativo del impacto de topografía local ofrece la oportunidad de aproximar y disminuir las mediciones erróneas. En general, las variaciones topográficas muy abruptas pueden tener un impacto significativo sobre valores de resistividad aparente. Los efectos topográficos son fiables, al grado que ellos pueden ser modelados siempre y cuando se tomen en consideración en la interpretación de los datos.

SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES REALIZADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO																
SONDEO	LAG101	LAG102	LAG103	LAG104	LAG201	LAG202	LAG203	LAG204	LAG301	LAG302	LAG303	LAG304	LAG401	LAG402	LAG403	LAG404
LATITUD	2263680	2262850	2262600	2261200	2263150	2262410	2261660	2260750	2262300	2261350	2260280	2259270	2262513	2262553	2262662	2262547
LONGITUD	366500	365820	365140	364490	367600	366600	366050	365400	367980	367280	366600	366450	366699	366025	364661	364140
MUNICIPIO	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN	HUIMILPAN
EMPRESA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA	GUYSA
FECHA	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	JULIO. 93	ENERO. 02	ENERO. 02	ENERO. 02	ENERO. 02
ABERTURA																
AB/2 (m)	RESISTIVIDAD APARENTE (OHM-M)															
3	31.34	31.06	12.14	18.07	20.96	42.22	49.55	12.83	24.27	19.91	26.19	170.62	55.176	81.499	10.95	261.499
5	49.25	24.11	13.91	24.73	29.24	44.55	74.93	17.66	33.61	27.87	35.91	209.02	60.946	69.952	10.52	446
7	51.55	25.12	13.65	31.24	35.28	55.79	84.22	20.35	35.91	40.63	44.63	240.35	65.345	71.628	9.89	620
10	67.01	26.85	15.07	42.19	40.28	58.82	96.59	23.27	49.43	55.83	51.35	270.93	66.739	67.963	9.5	650
15	77.62	25.26	19.79	61.61	45.94	60.08	106.78	24.41	55.53	71.21	63.23	250.33	65.386	70.025	9.53	573
20	69.53	27.1	22.71	71.62	48.66	65.97	111	26.13	58.34	81.36	86.16	227.75	60.746	67.688	9.71	480
30	64.08	28.48	30.39	86	50.53	63.12	110.79	27.5	63.27	85.17	97.44	197.91	72.843	62.3	12.67	360
40	60.06	25.85	34.93	91.94	48.75	64.86	108.01	30.27	61.39	87.08	99.63	138.43	83.095	59.966	12.55	295
50	59.42	24.54	38.28	91.13	49.08	65.77	101.12	33.73	56.28	92.08	90.88	110.28	91.011	54.083	13.98	260
70	52.59	26.16	38.48	95.56	46.95	69.27	94.44	45.48	59.12	86.97	82.46	87.23	100.374	57.33	18.24	200
80	53.28	26.39	38.34	93.97	48.85	69.36	90.46	53.46	56.96	75.9	78.62	67.01	107.8	59.889	19.29	170
100	61.81	26.58	38.03	75.12	52.3	71.47	89.38	62.83	56.09	73.82	73.3	52.35	118.112	60.417	22.72	150
125	67.9	28.47	39.94	68.29	55.21	84.26	91.47	68.45	57.31	68.71	71.87	50.68	127.209	70.605	26.45	135
150	80.14	32.05	43.21	63.75	60.14	96.34	84.17	69.48	63.86	54.42	73.21	52.42	137.242	75.213	30.874	104
200	107.96	33.67	45.53	48.28	70.36	118.38	82.16	64.74	74.68	46.18	70.39	53.35	135.494	65.4	34.125	83
250	111.15	33.07	44.17	34.95	68.72	119.89	79.62	48.19	78.39	38.28	65.12	49.08	133.235	61.767	37.65	68
300	119.3	31.4	44.33	29.59	64.16	120.16	71.47	39.98	74.98	33.98	60.76	46.06	95.696	49.832	38.357	62
400	164.87	30.71	45.31	26.16	65.17	113.09	56.54	28.35	62.72	31.39	51.78	47.86	76.676	42.515	44.876	57.5
500	205.87	30.35	47.49	24.86	61.82	97.54	44.11	23.57	50.67	34.34	42.91	52.16	55.976	33.895	57.75	60
600	229.53	28.56	50.87	23.79	51.44	87.62	34.57	20.18	45.75	33.91	36.77	55.05	54.097	32.756	67.652	62
700	231.04	26.27	46.55	23.4	42.7	78.87	30.82	18.1	45.97	31.93	33.95	54.81	48.379	25.487	74.987	68
800	230.2	25.64	42.71	23.08	31.66	69.35	24.91	16.89	47.18	28.2	31.36	53.24	49.012	18.085	58.879	77
900	228.16	24.27	35.95	26.45	28.09	66.15	22.02	15.47	46.75	26.5	29.79	48.06	50.314	17.132	57.547	77.5
1000	221.73	23.8	29.4	31.99	29.01	56.85	20.16	15.17	43.1	27.05	27.95	45.49	51.241	16.985	57.132	78
1100	221	22	26	39	30	53	18	15	42	29	27	45				
1200	217.14	21.51	24	40.54	31.91	51.48	16.82	13.33	41.36	28.24	24.36	44.48				
1300	216.74	19.97	21.88	40.99	32.15	50.94	16.2	12.78	40.66	26.85	21.25	45.42				
1400	216.67	20.67	19.22	40.12	31.14	49.52	17.4	11.67	39.2	27.3	20.17	46.29				
1500	215.38	21.15	19.3	39.47	32.22	48.13		11.25	38.42	26.48		46.67				

FIG. 15- DATOS OBTENIDOS DE LOS SEV's.

3.4 -REGISTRO GEOFÍSICO

Otro criterio que se empleó para este estudio fue el registro de pozo, el cual proveyó información física, por la obtención de núcleos en el momento de su realización y posteriormente se obtuvo en el mismo un registro geofísico de pozos en el cual se puede obtener por un método eléctrico directo la respuesta de las diferentes capas del subsuelo,

gracias a esto se pudo calibrar el perfil 4 con las resistividades obtenidas del registro y con las resistividades medidas en el SEV 401, y de esta forma correlacionar los datos obtenidos en cada uno de los SEV'S. El registro geofísico de Pozo se puede observar en la FIG. 16.

El registro eléctrico obtiene información a partir de los 68 m, profundidad donde se localiza el nivel del lodo. A partir de esa profundidad se identifican 3 cambios importantes en el comportamiento general de la resistividad, el primer cambio se presenta en el intervalo de los 27 a los 120 m, con valores de resistividad en la normal corta de 100 y en la normal larga de 250 ohm.m, asociado según el corte litológico del pozo a un basalto. El segundo intervalo se encuentra de los 120 a los 215 m presentando valores de resistividad bajos, alrededor de los 3 ohm.m, tanto en la normal corta como en la normal larga, asociándose con una toba vitocrystalina alterada.

En cuanto al los valores obtenidos por el sondeo Lag401 se calibraron al registro, obteniéndose tres capas importantes la primera con valor de resistividad de 63 ohm.m, con una profundidad de 27 m, la segunda capa con un valor de 277 ohm.m y una profundidad de 120 m y la tercera con un valor de 20 ohm.m. Se aprecia que la calibración del SEV con el registro es similar a la del corte litológico y gracias a esta información se procedió a interpretar cada uno de los siguientes SEV's Con la finalidad de analizar el comportamiento de la resistividad aparente a profundidad en toda el área de estudio se realizaron mapas de isorresistividades, los cuales se presentan a continuación. Estos mapas servirán como una herramienta más para la calibración de todos los datos geofísicos obtenidos.

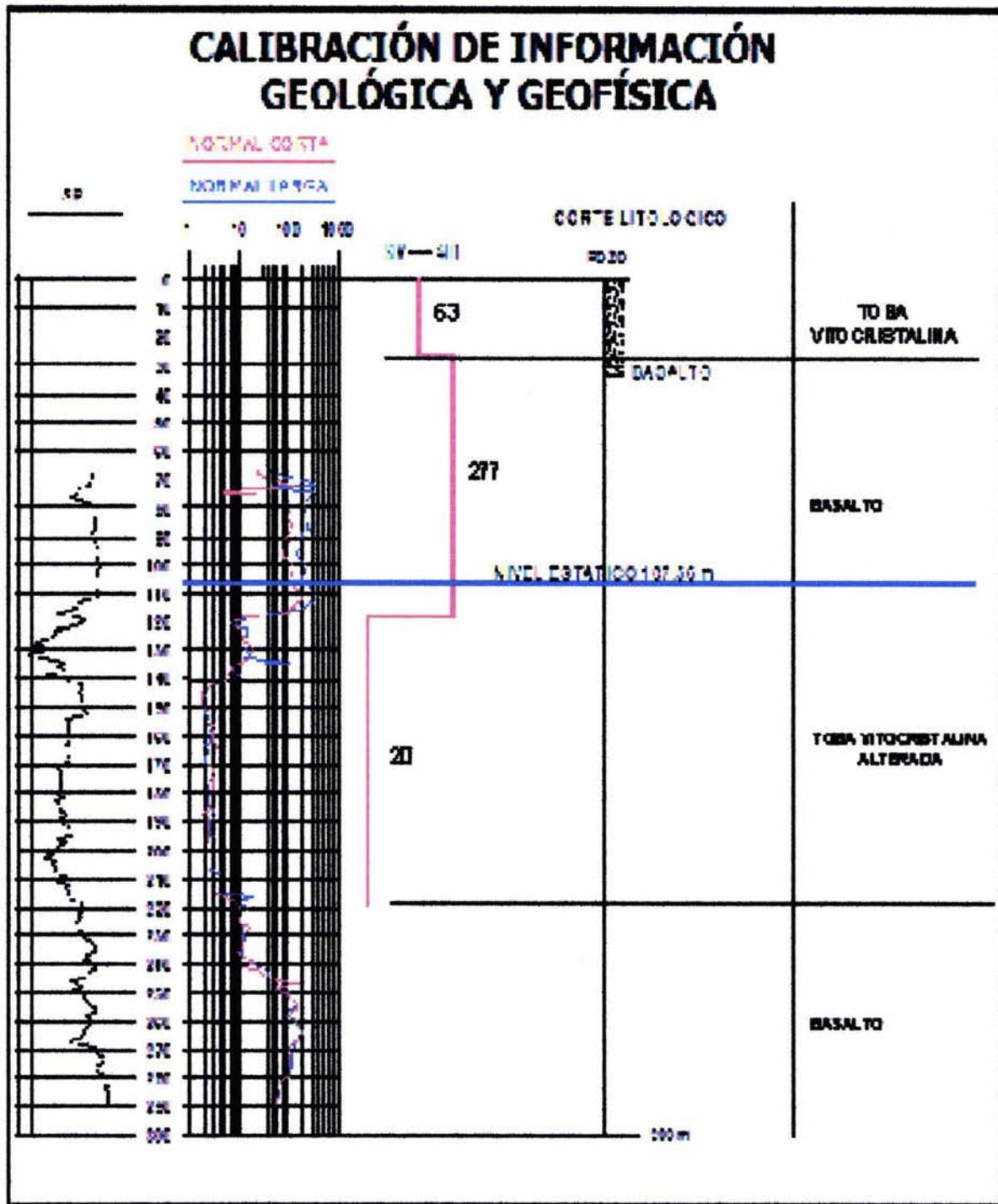


FIG. 16 -REGISTRO GEOFISICO REALIZADO EN EL POZO 2519

3.5 -MAPAS DE ISORRESISTIVIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

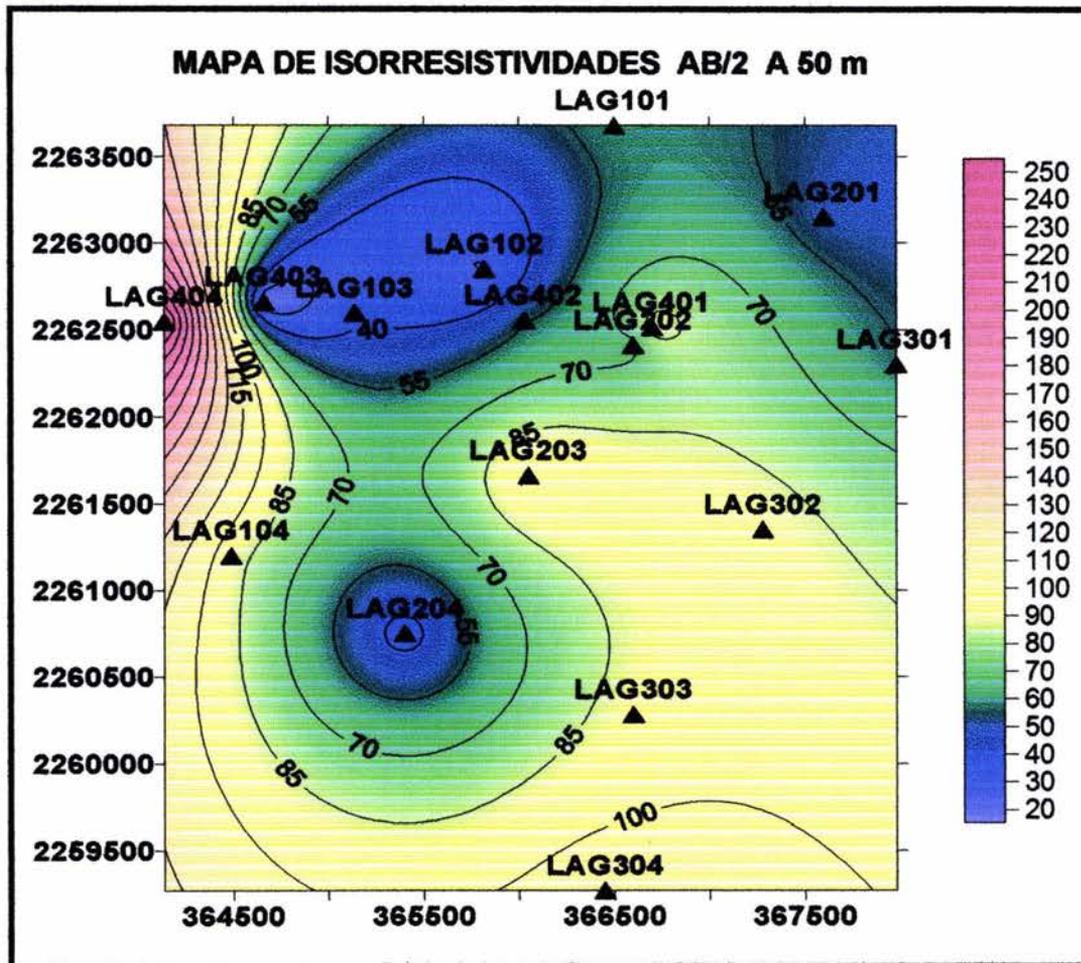


FIG. 17 –CORTE HORIZONTAL DE ISORRESISTIVIDADES AB/2 50 m

A la profundidad de 50 m se observan cuatro cambios de resistividades, presentándose un cuerpo de alta resistividad a la altura del SEV LAG404, el cual da una idea de un macizo rocoso bien consolidado. Las bajas resistividades se presentan en la ubicación de los SEV's LAG 102, LAG 103, LAG 403 Y LAG 204. En el resto del corte se encuentran valores medios a altos de resistividad.

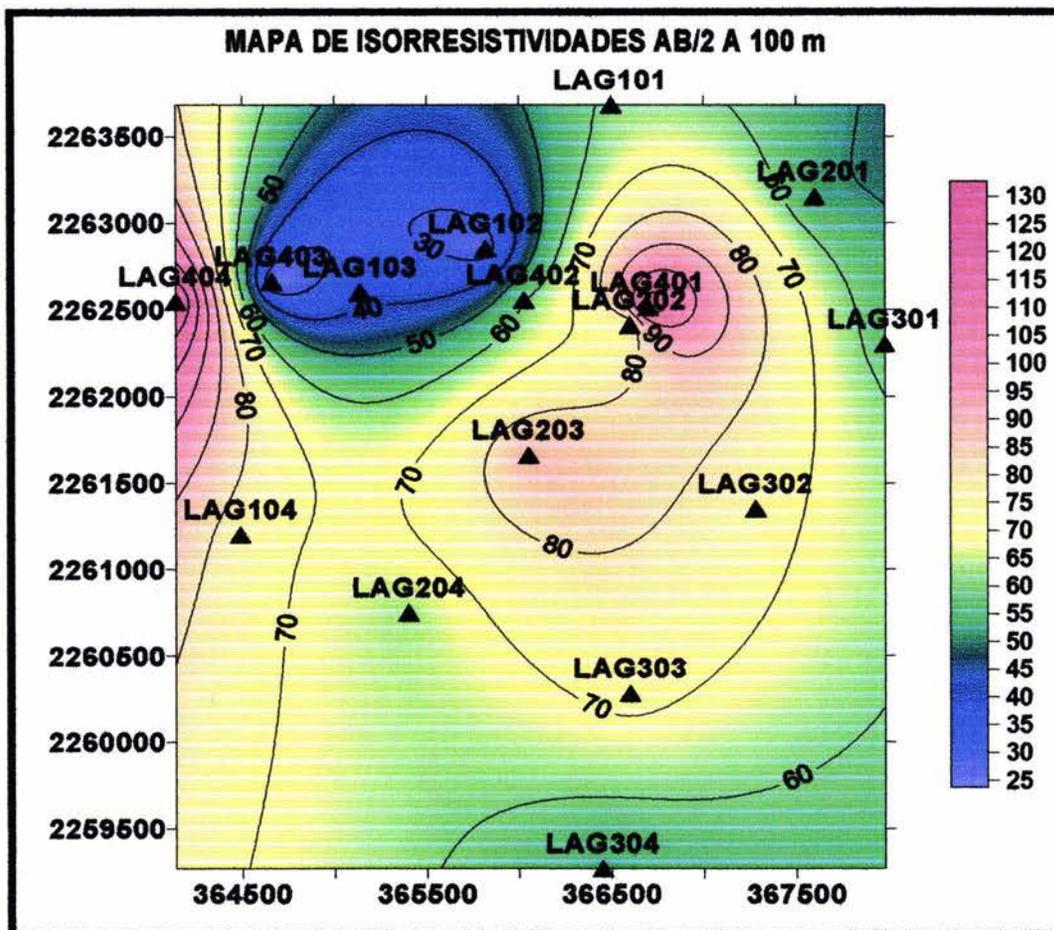


FIG. 18 –CORTE HORIZONTAL DE ISORRESISTIVIDADES AB/2 100 m

En la penetración AB/2 a 100 m se observa que el terreno se vuelve mas resistivo, y se continua el cuerpo de alta resistividad a la altura de SEV LAG404, marcándose un cuerpo igualmente resistivo a la altura del SEV LAG404, el cual se ve en el corte AB/2 a 50 m, a su vez se localiza otra zona de alta resistividad a la altura del SEV LAG 401 y LAG 202. De la misma forma se presenta una zona con valores bajos de resistividad y se ubican en la zona de los SEV's LAG 102, LAG 103 Y LAG 403.

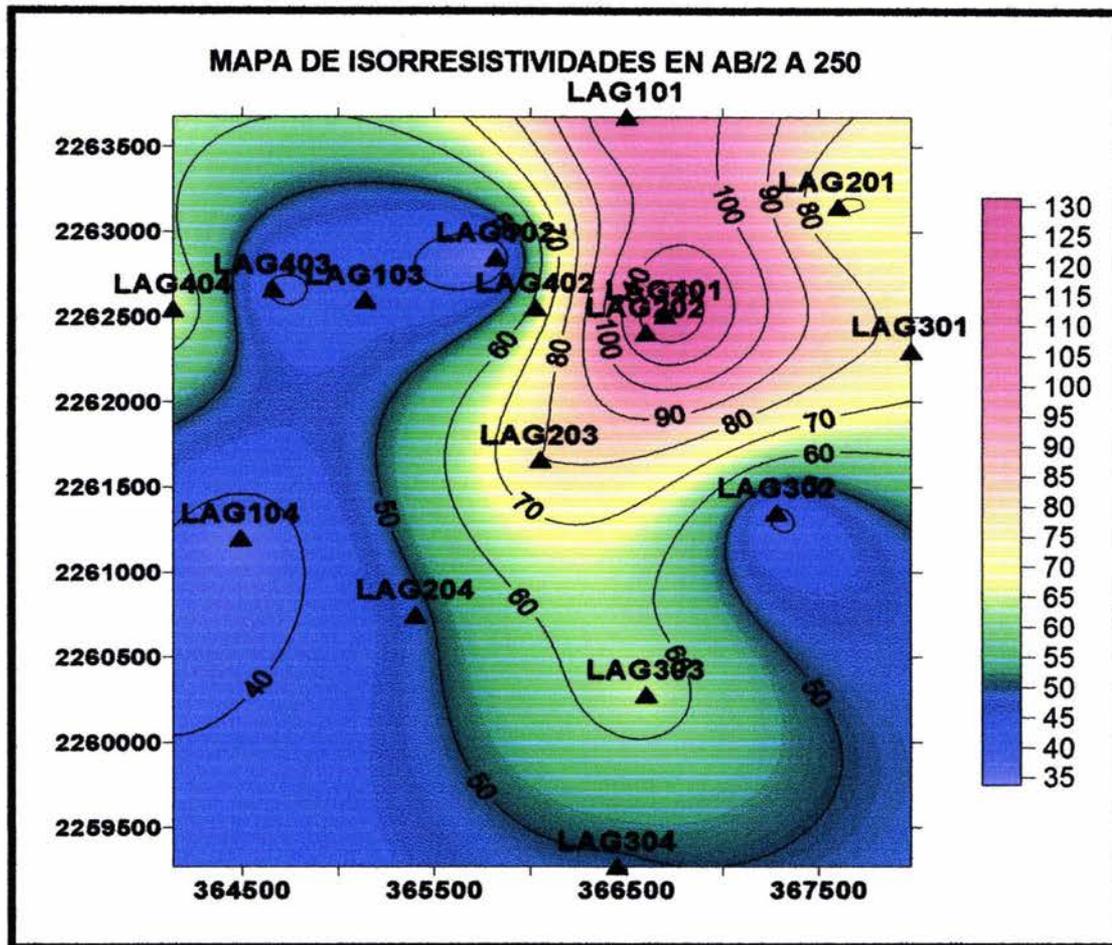


FIG. 19 –CORTE HORIZONTAL DE ISORRESISTIVIDADES AB/2 250 m

En la penetración AB/2 a 250 m se observa que el cuerpo altamente resistivo que se encuentra a la altura del SEV LAG401 y a partir de este las resistividades del terreno descienden considerablemente, el cuerpo altamente resistivo localizado a la altura del SEV LAG404 va disminuyendo su resistividad, por lo que posiblemente se encuentre fracturado y/o saturado de agua.

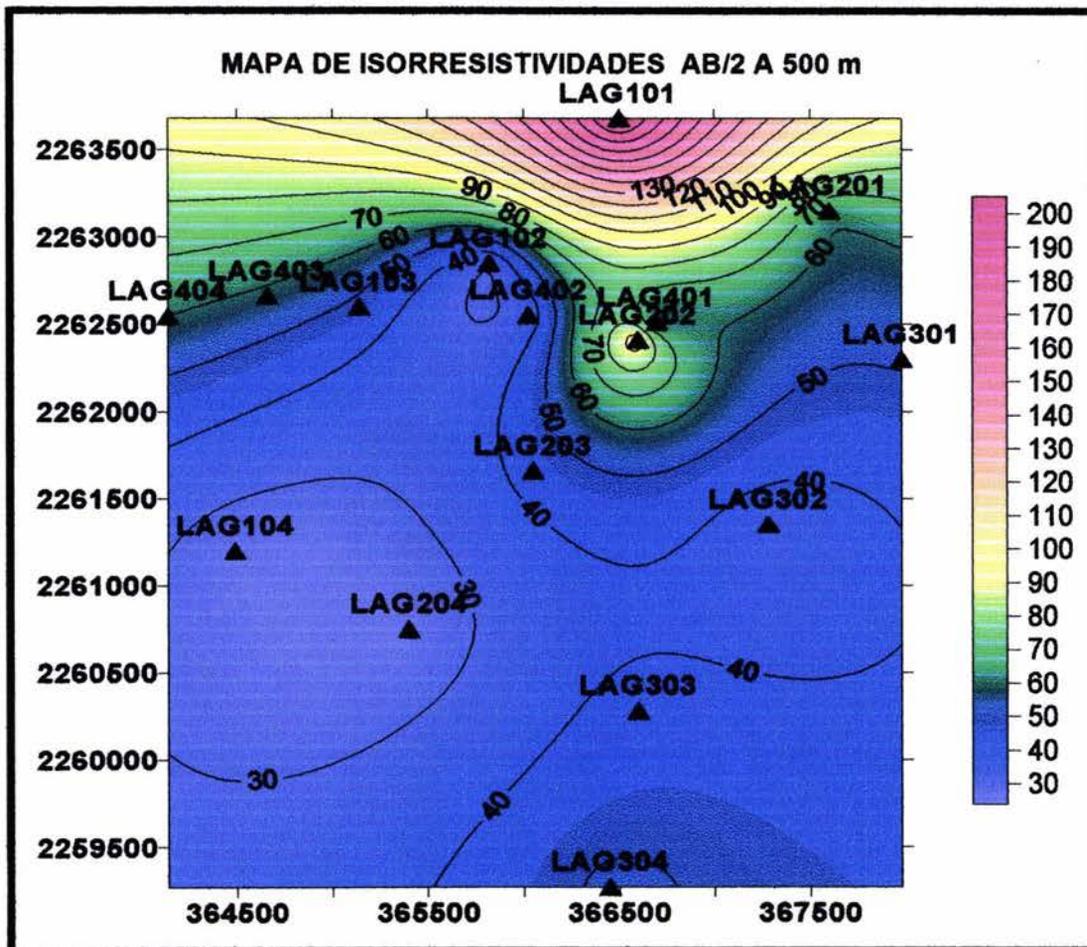


FIG. 20 –CORTE HORIZONTAL DE ISORRESISTIVIDADES AB/2 500 m

En la abertura AB/2 a 500 m se observa que al Norte de la zona de estudio, a la altura del SEV LAG101 se observa una capa con altas resistividades en el terreno, y a partir del SEV LAG402 disminuyen las resistividades considerablemente.

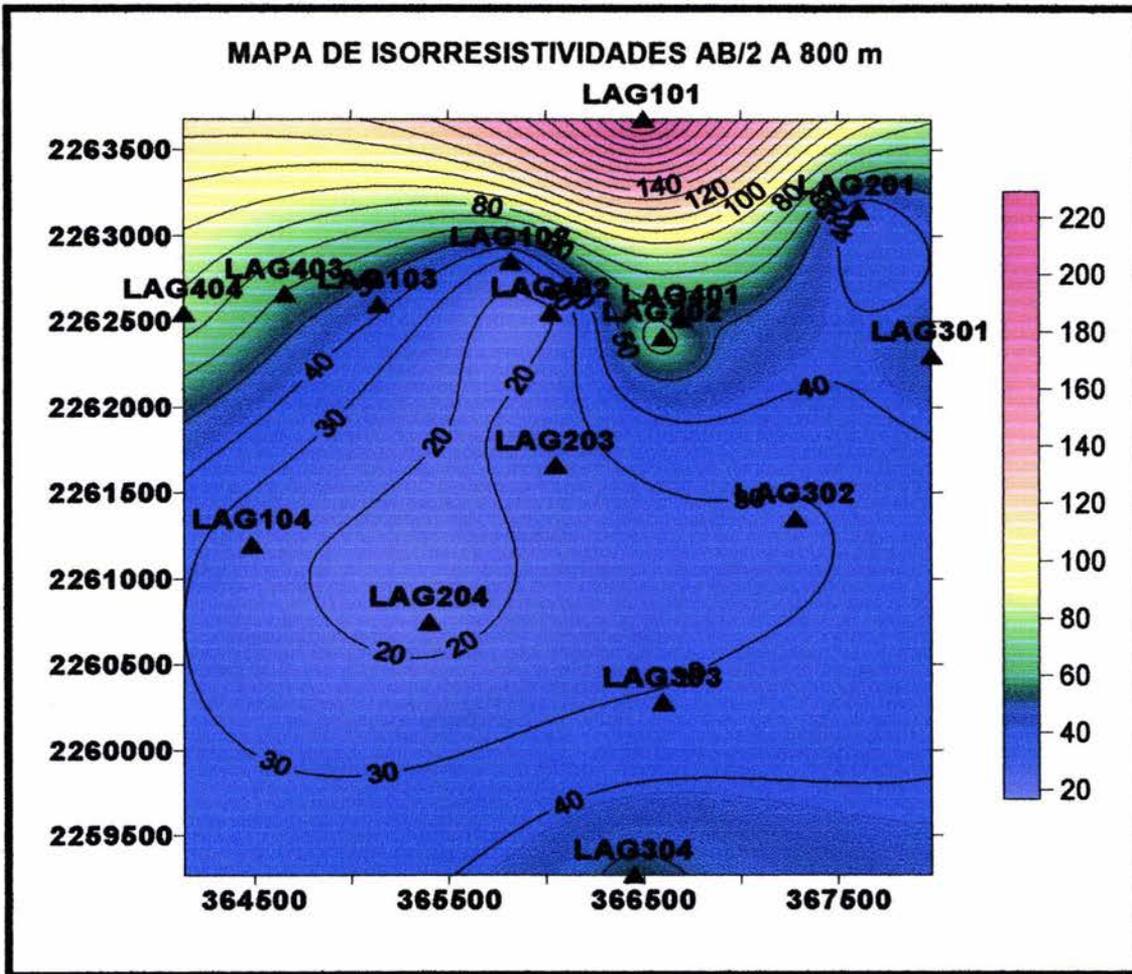


FIG. 21 –CORTE HORIZONTAL DE ISORRESISTIVIDADES AB/2 800 m

En la abertura AB/2 a 800 m se observa al norte de la zona de estudio que el cuerpo altamente resistivo continua hasta esta profundidad, a la altura del SEV LAG101, disminuyendo en dirección al Sur las resistividades del terreno, presentándose un cuerpo medianamente resistivo a la altura del SEV LAG304.

Por medio de los mapas de Isorresistividades se puede observar la forma en que los cuerpos y sus resistividades se van presentando a diferentes profundidades, y de esta manera poder establecer un perfil Geoeléctrico más preciso de la zona de estudio. Se diferencia que a partir de la abertura AB/2=500, los valores de resistividad dentro de la zona central Sur decaen.

3.6 - INTERPRETACIÓN PERFIL 1

Se identificaron cinco unidades geoelectricas que presentan rangos especificos de resistividad y posición.

El perfil No.1 está integrado por 4 SEV'S con una dirección preferencial NE - SW y una longitud de 3,500 m. El SEV LAG101 se localiza en coordenadas UTM; Latitud 263680 y Longitud 366500. El SEV LAG102 se localiza en la Latitud 2262850 y Longitud 365820. El SEV LAG103 se localiza en la Latitud 2262600 y Longitud 365140 . Y el SEV LAG104 se ubica en la Latitud 2261200, con una Longitud 364490. El perfil de isorresistividades aparentes, muestra valores de resistividad que oscilan entre los 20 a los 200 ohm-m. Los valores más bajos se localizan al Oeste del plano, mientras que los valores mas altos se localizan en el extremo Este del perfil de isorresistividades.

MODELO GEOELÉCTRICO DEL PERFIL 1

Para esta correlación se tomaron en cuenta todos los datos anteriormente recabados.

El modelo eléctrico, define cinco unidades de resistividad que se asocian a diversas litologías del subsuelo de la zona. La primera capa denominada en este estudio como **A**, se presenta con resistividades bajas y su posible correlación es la de una Toba Vitocristalina.

Posteriormente se identifica otra unidad la cual se denomina con la literal **A'** la cual presenta valores de resistividad clasificados en medios, en esta capa se encuentra el nivel freático del acuífero de la región y su posible correlación es la de una Toba Vitocristalina Alterada, saturada.

A continuación se localiza una capa fuertemente resistiva la cual por su resistividad se considera como un macizo rocoso altamente masivo y se denomina con las letra **B1** y **B2** dependiendo de su arreglo estratigráfico, pero se trata posiblemente del mismo material.

Se determina una capa con resistividad media, pero gracias a la información del pozo se correlaciona igualmente con un posible Basalto Altamente Fracturado y saturado de agua, el cual sugiere que se comporta como capa de recarga del acuífero y es denominado como **B''**.

Por último se determina una capa de baja resistividad denominada con las literales **C1** y **C2**, igualmente dependiendo de su arreglo estratigráfico, pero se infirió que se trataba del mismo material y su posible correlación es la de una Toba Arcillosa, la cual funcionaria como roca sello del acuífero.

La profundidad máxima interpretada oscila entre los 300 m a los 400 m.

Dando como resultado el corte geoelectrico del perfil no.1 en el cual se pueden observar los diferentes tipos de capas que se encuentran a lo largo de los sondeos LAG101, LAG102, LAG103 Y LAG104. Para mayor referencia ver Plano PCLAG-1.dwg en el cual y así como en los cinco planos restantes que conforman el anexo I, se puede observar el corte geoelectrico del perfil citado, así como el perfil de isorresistividades, el cual tiene como peculiaridad que en el eje de las Y de la sección, se realizo con unidades logarítmicas, debido a que por medio de este tipo de interpretación se quiso evitar el factor de escala que se tiene cuando se utilizan unidades lineales.

3.7 - INTERPRETACIÓN PERFIL 2

Este perfil esta integrado por 4 SEV's con una dirección preferencial NE - SW y una longitud de 3,500 m. El SEV LAG 201 tiene las siguientes coordenadas en formato UTM: Latitud 2263150 y Longitud 367600. El SEV LAG 202, se ubica en: la Latitud 2262410 y Longitud 366600. El SEV LAG 203 se cuenta con las siguientes coordenadas: Latitud 2261660 y Longitud 366050. Y el SEV LAG 204 se ubica en la Latitud 2260750 y Longitud 365400. El perfil de isorresistividades aparentes muestra valores de resistividad que oscilan entre los 20 y los 120 ohm-m. Los valores más bajos se localizan a profundidad en el extremo Oeste del perfil, mientras que los mayores se localizan en la dirección Este.

MODELO GEOELÉCTRICO DEL PERFIL 2

De la misma manera se pueden ver los resultados en el corte geoelectrico del perfil no.2 en el cual se pueden observar los diferentes tipos de capas que se encuentran a lo largo de los sondeos de este perfil como se puede observar en el plano del perfil. PCLAG-2.dwg. En el cual se describe primeramente una capa denominada A, la cual cuanta con valores de resistividades medios y su posible correlación pertenece a una Toba Vitocristalina.

A continuación se describe una capa nombrada en este estudio con las literales A1' y A2' estratigráficamente divididas, las cuales presentan la misma litología que la capa anterior pero debido a sus valores de resistividad que varían de bajos a medios, se correlaciono con una Toba Vitocristalina Alterada.

Posteriormente se ubicó una capa con resistividades altas denominada con las literales **B1, B2 y B3**, dividida por su arreglo estratigráfico, la cual se presenta como un macizo rocoso de buena calidad y se clasificó en su posible correlación como un Basalto.

Igualmente se localizó una capa con resistividades altas pero menores a la capa anterior por lo que su posible correlación podrá tratarse de un Basalto Fracturado y/o saturado de agua, denominado como **B'**.

Y por último se encuentra una capa con resistividades bajas la cual se correlacionó como una posible Toba Arcillosa, que funcionaría como la roca sello de acuífero de la región denominada como **C**.

La profundidad máxima interpretada oscila entre los 300 m a los 400 m.

3.8 - INTERPRETACIÓN PERFIL 3

En este perfil se identificaron cinco unidades geoelectricas que presentan rangos específicos de resistividad.

Integrado por 4 SEV'S. El SEV LAG301 se localiza en las siguientes coordenadas UTM: Latitud 2262300 y Longitud 367980. El SEV LAG302 se ubica en las coordenadas: Latitud 2261350 y Longitud 367280. El SEV LAG303 se localiza a una Latitud 2260280 y Longitud 366600. Y el SEV LAG304 se ubica en la Latitud 2259270 y Longitud 366450. El perfil de isorresistividades aparentes muestra valores de resistividad que oscilan entre los 20 y 250 ohm-m. Los valores más bajos se localizan a profundidad a lo largo de toda la línea de investigación, mientras que los valores de resistividad mayores se localizan en la dirección W, del perfil.

MODELO GEOELÉCTRICO DEL PERFIL 3

El corte geoelectrico presenta cinco unidades geoelectricas. Se presenta una primera unidad **A**, la cual por la geología del lugar y la correlación con la respuesta que dio el pozo y su registro se llego a la conclusión de que la probable correlación de la unidad corresponde a una toba vitocristalina que es muy abundante en la región a superficies someras.

La segunda unidad, **A'1 y A'2** corresponde al mismo material pero se presenta en condiciones de alteración y/o saturadas de agua, con valores medios de resistividad .

La tercera capa que se presenta denominada como **B**, corresponde a un macizo rocoso de buena calidad el cual se presume que es un basalto de buena calidad, presentando resistividades altas.

Posteriormente se presenta **B'**, capa corresponde posiblemente al mismo material pero este se encuentra fracturado y saturado de agua por lo que presenta una resistividad inferior a la capa de Basalto macizó.

Y por último se observa una unidad, la cual se denomino como **C**, la cual dio como respuesta una baja resistividad, presentándose como la roca sello del acuífero y debido a esto se le da una litología arcillosa la cual se correlaciona posiblemente como una toba arcillosa. En la Tabla del plano PCLAG-3.dwg, se describen y se dan las posibles correlaciones de las capas citadas.

3.9 - INTERPRETACIÓN PERFIL 4

En este perfil se identificaron cuatro unidades geoelectricas que presentan rangos específicos de resistividad.

Integrado por 4 SEV'S con una dirección preferencial E – W. El SEV LAG401 se localiza en la parte oriental del perfil a un lado del pozo 2519, con coordenadas UTM: latitud 2262513 y longitud 366699. El SEV LAG402 se localiza en la latitud 2262553 y Longitud 366025. El SEV LAG403 se localiza a 50 m al norte del tanque de rebombeo en la Latitud 2262662 y Longitud 364661. Y el SEV 4 se ubica en la plaza cívica de la población, contando con una Latitud 2262547 y Longitud de 364140. El perfil de isorresistividades aparentes muestra valores de resistividad que oscilan entre los 20 y 650 ohm-m.

MODELO GEOELÉCTRICO DEL PERFIL 4

Este Perfil es de suma importancia para este estudio, ya que debido a toda la información que se logró contener en el se logró correlacionar todos los perfiles anteriores, cuenta además, con un pozo en el cual se extrajeron muestras de canal y se midió la resistividad directamente por medio de un registro eléctrico de pozos el cual define varios contrastes de resistividad las cuales se asocian a diversas litologías que se encuentra bajo el subsuelo de la zona, el pozo de denomina, "Pozo 2519".

El corte geoelectrico presenta seis unidades las cuales se describen a continuación: Como primera unidad se tiene la literal **A**, la cual se presenta con resistividades que varían de media a alta, su correlación corresponde a una toba vitocristalina, la cual se presenta en toda la región a profundidades muy someras.

La segunda unidad se denomino como **A'1** y **A'2**, que corresponde a un mismo material que la anterior, pero esta se encuentra altamente alterada, lo cual se refleja en su resistividad media, por lo anterior su posible correlación corresponde a una Toba Vitocristalina Alterada.

Posteriormente se observa a la unidad denominada **B1**, **B2** y **B3**,estratigráficamente dividida, esta unidad presenta resistividades muy altas, lo cual da a entender que corresponde a un macizo rocoso sano y su posible correlación corresponde al Basalto. Con respecto al mismo material se ubica otra unidad **B'1** y **B'2**, de acuerdo a su estratigrafía y debido a su resistividad media, se infiere que se encuentra fracturado y/o saturado de agua por lo que su posible correlación es la de un Basalto Fracturado.

A su vez se observa otra unidad con la misma litología que las dos anteriores pero esta presenta valores de resistividad que varían en resistividad de media a alta, dando a entender que es un material altamente fracturado y/o muy saturado denominado con la letra **B''**.

Por último se presenta la unidad denominada como **C1** y **C2** respectivamente de acuerdo a su arreglo estratigráfico, la cual presenta valores de resistividad bajos y con la información obtenida de la perforación del pozo 2519 y su registro se liego a la conclusión de que su posible correlación correspondería a una Toba Arcillosa, la cual tendrá la función de roca sello del acuífero.

La profundidad máxima interpretada oscila entre los 200 a 400 m. Para mas detalles consultar el plano PCLAG-4.dwg, en donde se describen y correlacionan las capas citadas.

3.10 -INTERPRETACIÓN DE LA SECCION CRUZADA 1

Esta sección fue realizada con la finalidad de integrar toda la información posible a este estudio, en ella se encuentran los resultados obtenidos por la realización de un pozo, su registro geofísico y la información obtenida de los SEV'S 404, 403, 103 el cual fue proyectado y unificado a la línea de esta sección utilizando el criterio de la semiesfera formada por las líneas equipotenciales al aplicarse en el subsuelo una corriente eléctrica, el 402, 202 igualmente proyectado, 401 el cual fue correlacionado con el pozo que se realizó a

un costado de este SEV y su registro, 301 con el que se alargo la línea hasta dicho SEV. Todo esto se realizo con la finalidad de obtener la mayor información posible del comportamiento del subsuelo y de esta manera poder definir con mayor exactitud el modelo geoelectrico del valle.

Los resultados obtenidos gracias a la integración de toda la información permisible es la modelación geoelectrica del valle en su subsuelo. En su Perfil de isorresistividades se observa que las resistividades mas altas se encuentra al N-W del valle mientras que al S-E, se localizan las resistividades mas bajas. De la misma forma se identifica que el perfil de isorresistividades es congruente al modelo propuesto, dando con esto más confiabilidad del corte geoelectrico. La profundidad máxima interpretada de este perfil comprende, de los 300 a 400 m.

MODELO GEOELÉCTRICO SECCION CRUZADA 1

En el Perfil de la Sección Cruzada No.1 se observa que está compuesto por seis capas las cuales se describen a continuación: Se presenta la primer capa denominada como **A** la cual cuenta con una resistividad media a alta la cual se observa aflorando comúnmente en el valle, por su resistividad obtenida y la correlación hecha con el pozo y el registro se determina su posible correlación geológica, la cual corresponde a una Toba Vitocristalina.

A continuación se observa una capa con una resistividad media, la cual se presume que se trata del mismo material litológico que la anterior pero por su resistividad especifica se puede inferir que su posible correlación geológica es la de una Toba Vitocristalina Alterada, a esta capa se le denomina con la literal **A'1** y **A'2** de acuerdo a su arreglo estratigráfico.

De igual forma se presenta una capa con una resistividad muy alta por lo anterior se trata de un macizo rocoso de buena calidad, a el que se le puede correlacionar geológicamente con un Basalto, nombrado con las literales **B1**, **B2** y **B3** estratigráficamente divididas.

En el Subsuelo del valle se presenta otra unidad con resistividades que varían de media a alta, la cual su posible correlación geológica seria la de un Basalto pero se encuentra fracturado y/o Saturado de agua el cual fue señalado con la letra **B'1** y **B'2**, clasificadas por su arreglo estratigráfico. Esta unidad puede ser una zona de recarga del acuífero de la región al encontrarse fracturado permite la infiltración de agua.

Posteriormente se detecta otra unidad con valores de resistividad con valores medios, la cual fue asociada nuevamente a un Basalto y se representa con la literal **B''**, pero en este caso se trata de un basalto altamente fracturado y /o saturado de agua, esta capa funciona igualmente como roca de recarga del acuífero de la región.

Por último se localizó una unidad con resistividades bajas las cuales fueron correlacionadas con una posible Toba Arcillosa, la cual tendría la función de roca sello del piso del acuífero y se le denomina con las literales **C1** y **C2** de acuerdo a su acomodo estratigráfico.

La profundidad máxima interpretada oscila entre los 200 y los 500 m. Para mas detalles consultar el plano SCLAG-1.dwg, en donde se describen y correlacionan las capas citadas.

3.11 -INTERPRETACIÓN SECCION CRUZADA 2

La realización de esta segunda Sección Cruzada tiene la misma filosofía que la primera, por lo que igualmente se integran la mayor cantidad de información permisible y de criterios. Los SEV's que intervienen en esta sección son: El SEV 304, 303 202 401 y el 101. Como se observa en esta sección intervienen una mayor cantidad de SEV de otras líneas por lo que la integración de esta información es mas nutrida y de mejor calidad, obteniéndose por lo tanto un modelo geoelectrico –geológico mas apegado a la realidad. La información de los SEV's es correlacionada con los cortes de las muestras de canal, obtenidos del pozo y con el registro geofísico de pozo.

En su Perfil de Isorresistividades se confirma que al igual que la Sección Cruzada No.1, las resistividades mas altas se encuentra al N-W del valle mientras que al S-E, se localizan las resistividades mas bajas. De la misma forma se identifica que el perfil de isorresistividades es congruente al modelo propuesto, dando con esto más confiabilidad del corte geoelectrico.

MODELO GEOELÉCTRICO SECCION CRUZADA 2

En esta sección se detectaron cinco unidades geoelectricas las cuales se describen a continuación: Se presentó una unidad la cual dio como respuesta, resistividades que varían de medias a altas nuevamente correlacionables con el pozo y su registro por lo que su posible correlación es la de una Toba Vitocristalina denominada como **A**.

Continuando se observó una unidad la cual se representa con las literales **A'1** y **A'2** respectivamente de acuerdo a su situación estratigráfica, las cuales se presume que esta compuesta del mismo material que la unidad anteriormente citada pero la peculiaridad de esta unidad consiste en que sus resistividades varían de baja a media por lo cual se puede inferir que el material se encuentra alterado, por lo anterior su posible correlación geológica podrá ser la de una Toba Vitocristalina Alterada.

Posteriormente se observa una unidad con resistividades altas lo cual nos hace inferir que se trata de un macizo rocoso compactado, el cual su posible correlación geológica sería la de un Basalto el cual se identifica con las literales **B1**, **B2** y **B3** respectivamente de acuerdo a su acomodo estratigráfico.

En esta sección se localizó otra capa con una resistividad media a alta la cual es identificada con una letra **B'** ya que se presume se pueda tratar de un Basalto pero este se encuentra fuertemente fracturado y/o saturado de agua, el cual puede ser parte de la zona de recarga del acuífero de la región.

Por último y a mayor profundidades se encuentra una unidad con resistividades muy bajas, la cual funciona como la roca sello del acuífero, su posible correlación geoelectrica-geológica es la de una Toba Arcillosa denominada con la literal **C**.

La profundidad máxima interpretada oscila entre los 350 y los 500 m. Para más detalles consultar el plano SCLAG-2.dwg, en donde se describen y correlacionan las capas citadas.

CAPITULO IV *ANÁLISIS DE RESULTADOS.*

4.1 -MODELO GEOLÓGICO –GEOFÍSICO

Partiendo de los perfiles geoelectricos, basándose en la información geológica y calibrando la litología obtenida del registro eléctrico se llego a proponer un modelo del comportamiento general del subsuelo en el Valle de Lagunillas, el cual se describe a continuación:

Se definen seis unidades litológicas diferenciables, de la misma manera se identificaron zonas en las que dichas unidades están intemperizadas, saturada de agua o fracturadas las cuales se pueden observar en el apartado de planos. En el modelo propuesto sólo se colocaron las capas índices de cada una de las litologías.

La primera capa **A**, en la que su posible correlación corresponde a una Toba Vitocristalina.

Posteriormente se identifica otra unidad denominada como **A'**, en esta capa se encuentra el nivel freático del acuífero de la región y su posible correlación seria la de una Toba Vitocristalina Alterada, saturada.

A continuación se localiza una capa fuerte, la cual se considera como un macizo rocoso altamente masivo y se denomina con la letra **B**.

Se localizó otra capa la cual es identificada con una letra **B'** ya que se presume se pueda tratar de un Basalto pero este se encuentra fracturado y/o saturado de agua.

Posteriormente se detecta otra unidad, la cual fue asociada nuevamente a un Basalto y se representa con la literal **B''**, pero en este caso se trata de un basalto altamente fracturado y /o saturado de agua.

Por último se determina una capa denominada como **C**, la que se puede inferir que su posible correlación es la de una Toba Arcillosa y basamento del valle, la cual funcionaria a su vez como roca sello del acuífero, como se observa en el anexo de planos. Es importante señalar que el NF. Se encuentra generalmente 130 m de profundidad.

UNIDAD	RESISTIVIDAD (ohm-m)	ESPESOR (m)	DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	POSIBLE CORRELACIÓN GEOLÓGICA
A	22 - 82	25 - 100	Unidad de resistividad media a alta, se encuentra aflorando en toda la zona de estudio.	TOBA VITOCRISTALINA
A'	20 - 47	55- 400	Unidad de resistividad baja a media se presenta aparentemente saturada de agua y alterada.	TOBA VITOCRISTALINA ALTERADA
B	121 - 686	50- 300	Unidad de resistividad alta se presenta como una roca sana altamente compacta.	BASALTO
B'	70 - 220	100 - 300	Unidad de resistividad alta se presenta como un medio fracturado y/o saturado.	BASALTO FRACTURADO Y/O SATURADO.
B''	30 - 45	80 -230	Unidad de resistividad baja a media, por lo que se considera como un basalto altamente fracturado el cual es la zona de recarga del acuífero.	BASALTO ALTAMENTE FRACTURADO.
C	11 - 18	50 - 300	Unidad de resistividad baja, se encuentra generalmente a altas profundidades, funcionando como el basamento y la roca sello del acuífero	TOBA ARCILLOSA

TABLA NO. 4 –MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS.

Las variaciones que se tuvieron con el modelo teórico propuesto se deben a que se realizó tomando exclusivamente la geología superficial y la información recabada sin tomar en cuenta los datos del registro eléctrico ni de los SEV's.

4.2 - DETERMINACIÓN DEL BASAMENTO

Uno de los objetivos planteados de este estudio es la de identificar el basamento, el cual fue ubicado a una profundidad mínima de 100 m y con una profundidad máxima de 400 m, el basamento fue correlacionado con una posible Toba Arcillosa la cual a su vez funciona como roca sello del piso del acuífero del valle, FIG. 22.

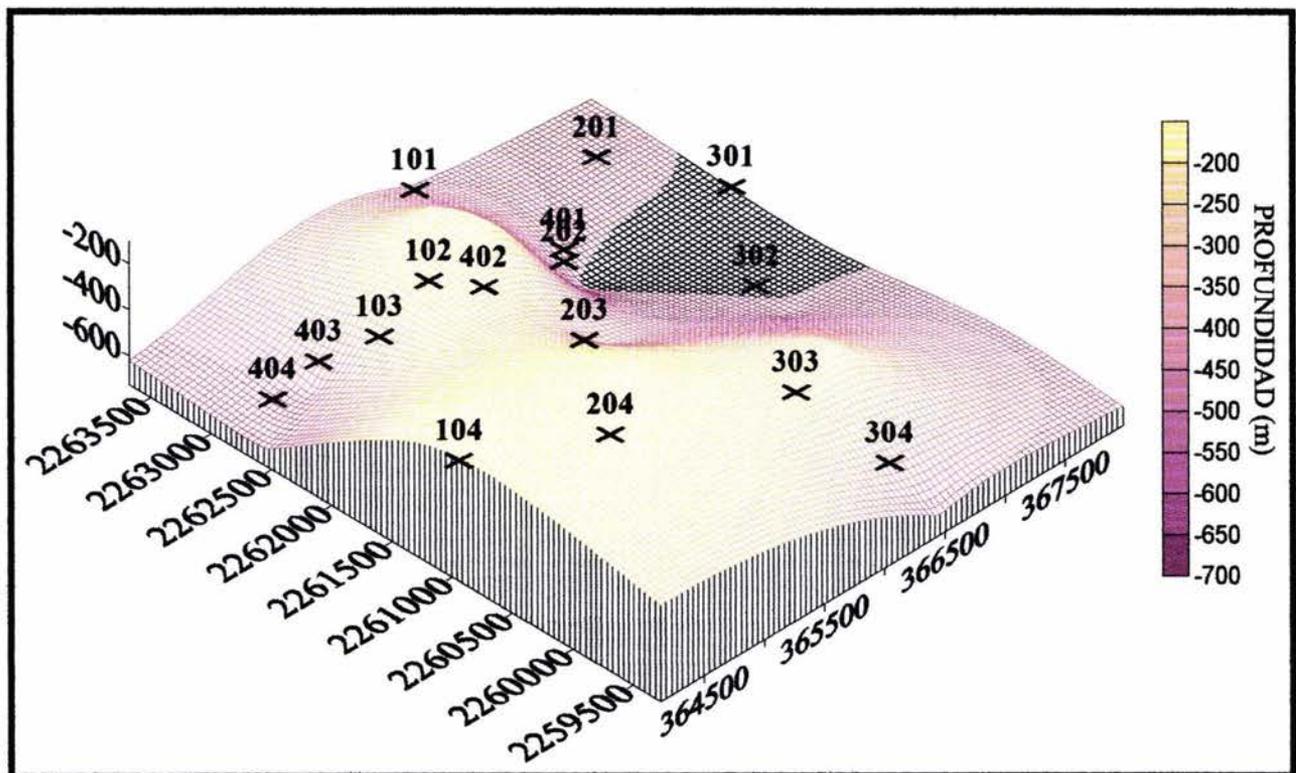


FIG. 22- MODELO GEOELÉCTRICO DEL VALLE DE LAGUNILLAS EN DONDE SE MUESTRA EL BASAMENTO.

Lograr determinar el basamento o capa índice da muchas posibilidades de poder determinar zonas más factibles para la realización de pozos que resulten positivos en la extracción de agua. Una vez determinado el basamento se configuró en tres dimensiones con lo cual se pueden proponer zonas de interés factibles para la realización de pozos y por

ende la extracción de agua. De esta manera se establecen siete puntos en donde la extracción de agua resulta mas favorable y se localizan en las siguientes coordenadas UTM, de la misma gráficamente se observan en la FIG. 23.

LATITUD	LONGITUD
2262900	364500
2259800	366700
2259950	367900
2261750	367400
2262650	366800
2262650	367400
2262650	367850

TABLA NO. 5 ZONAS DE INTERÉS PARA REALIZAR POZOS.

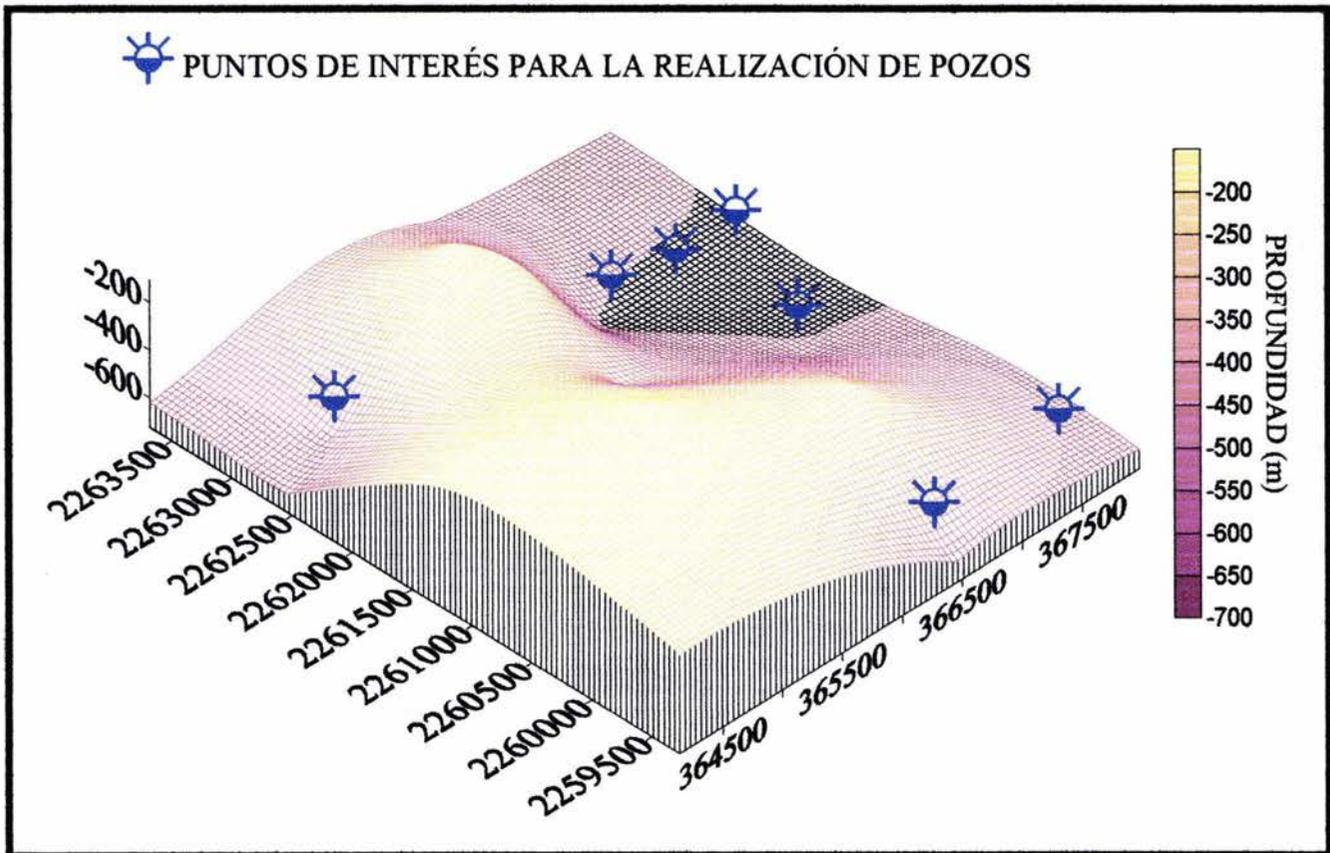


FIG. 23- PUNTOS DE INTERÉS PARA LA REALIZACIÓN DE POZOS.

CAPITULO V ***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.***

5.1 -CONCLUSIONES

➤ La calibración del registro geofísico del pozo denominado 2519 que se realizó a un costado de la ubicación del SEV401, con la información de los SEV's, es bueno debido a que se logró correlacionar las resistividades del perfil número 4 con el registro eléctrico y de esta manera interpretar los perfiles siguientes, dando como resultado el perfil geoelectrico del valle.

➤ Por medio de este estudio se logró determinar que el valle de lagunillas está compuesto básicamente por seis unidades geoelectricas, las cuales se describen a continuación: Como primera unidad se tiene a "A", su correlación corresponde a una toba vitocristalina, la cual se presenta en toda la región a profundidades muy someras. Como segunda unidad se encuentra "A", que corresponde a un mismo material que la anterior, pero esta se encuentra altamente alterada, su posible correlación corresponde a una Toba Vitocristalina Alterada. Posteriormente se observa a la unidad denominada B, que corresponde a un macizo rocoso sano y su posible correlación corresponde al Basalto. Con respecto al mismo material se ubica otra unidad "B" la cual corresponde a la misma litología pero debido a su resistividad media, se infiere que se encuentra fracturado y/o saturado de agua. De igual forma se detecta una unidad con resistividades bajas la cual fue correlacionada como un posible basalto altamente fracturado nombrado en este estudio como B". A su vez se observa otra unidad con la misma litología que las dos anteriores pero, por los resultados obtenidos da a entender que es un material altamente fracturado y/o muy saturado. Por último se presenta la unidad denominada como "C" su posible correlación correspondería a una Toba Arcillosa, la cual tendrá la función de roca sello del acuífero. Estas unidades se describen en este estudio como el modelo geoelectrico del valle y gráficamente se observan en los planos anexados en esta tesis.

➤ Mediante la información recabada se logró identificar la capa impermeable que actúa como basamento del acuífero, la cual se encuentra a una profundidad mínima de 100 m y con una profundidad máxima de 400 m y su posible correlación es la de una Toba Arcillosa la cual es a su vez el piso del acuífero y roca sello.

➤ La roca que contiene al acuífero de la región fue identificada en su posible correlación como una Toba Vitocristalina Alterada y cuenta con un espesor variable el cual va de 140 m a 400 m aproximadamente en su espesor mas grande.

➤ Lo anterior da una idea de que el acuífero es de buena calidad en cuestión de contenido de volumen de agua, pero debido a que las características y la longitud del acuífero es limitadamente reducida, sólo es recomendable su extracción para uso local. Esto se deriva del análisis de la información obtenida, por lo que se concluye que el potencial del acuífero de este valle es limitado y por lo tanto no es posible exportar recursos hidráulicos subterráneos al Valle de Querétaro, además de que se debe tener un control de la extracción del agua ya que de lo contrario esto se traduciría como una depreciación del acuífero con un aumento en los abatimientos del orden de los 5.7 metros por año y una reducción de su vida útil a sólo once años.

➤ a zona mas favorable para extraer agua es en las coordenadas geográficas Latitud $20^{\circ} 25' 30''$ y Longitud $100^{\circ} 16' 20''$ aproximadamente entre los SEV's 401 y 301 además que se proponen otros cinco puntos, esto es debido a que como se observa en la FIG. 22 son los sitios mas favorables debido a la profundidad de la roca sello y el espesor del acuífero de la roca que contiene agua es más marcado por lo que se tendrá mas certeza en que el pozo resulte positivo y a su vez se garantiza que su abatimiento sea más lento dando oportunidad de recarga al acuífero, sin afectar la extracción.

5.2 -RECOMENDACIONES

- En caso de que se requiera realizar una campaña de geofísica se deben de colocar las líneas de los SEV's mas cerca una de otra, cerrando la cuadrícula, con la finalidad de obtener datos confiables y más fácilmente correlacionables.
- En caso de que se requiera realizar un pozo en la zona de estudio este debe tener una profundidad mínima de 300 m, debido a que por las características del acuífero, se tendrá mas certeza de que el pozo resulte positivo para la extracción del líquido ya que habrá pasado la unidad del Basalto.

- Considerar al acuífero únicamente para cubrir las necesidades y requerimientos locales ya que por sus dimensiones limitadas solo podrá dar servicio a la localidad.
- Tener un control estricto de la extracción del agua ya que si se excede ésta, se podrán presentar en la zona, hundimientos diferenciales en todo el valle debido al abatimiento del acuífero.
- Con el propósito de favorecer el proceso de infiltración y recarga del acuífero, realizar una campaña de reforestación hacia las zonas norte, oriente y sur del Valle.
- El tipo de suelo no permite tener buenos resultados en el área agrícola, se recomienda cambiar el tipo de agricultura actual, basado en sembradíos de temporal y riego, por árboles frutales que requieran un volumen menor de agua y favorecen el proceso de infiltración.
- Estudiar nuevas zonas posiblemente factibles para la explotación del agua con la finalidad de satisfacer las necesidades Urbanas e Industriales de la ciudad de Querétaro, así como del resto de los estados de México, teniendo a su vez como resultado, agrandar los conocimientos del comportamiento del subsuelo de la Republica Mexicana.

B I B L I O G R A F Í A

EMILIO CUSTODIO / MANUEL RAMÓN LLAMAS.: **HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.**: TOMO 1.: PRIMERA EDICIÓN.: EDICIONES OMEGA, S. A. – CASANOVA, 220 – BARCELONA-11-1976.

MILTON B. DOBRIN.: **INTRODUCCIÓN A LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.**: TERCERA EDICIÓN.: EDICIONES OMEGA, S. A. – BARCELONA 1975.

ROBERT E. SHERIFF.: **GEOPHYSICAL METHODS.**: UNIVERSITY OF HOUSTON.

ENRIQUE DEL VALLE TOLEDO.- **APUNTES DE: INTRODUCCIÓN A LOS METODOS GEOFISICOS DE EXPLORACIÓN.**- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.-DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE GEOFISICA.

IU. V. LAKUBOVSKII, L. L. LIAJO.-**EXPLORACIÓN ELÉCTRICA.**- VERSIÓN ESPAÑOLA DE LA 3ª EDICIÓN RUSA.- EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

ALEJANDRO ARROYO CARRASCO.-**BASES TEÓRICAS E INTERPRETACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS.**- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.-DIVISION DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA DEPARTAMENTO DE GEOFISICA.

CONSEJO DE RECURSO MINERALES.- **MONOGRAFIA GEOLOGICO-MINERA DEL ESTADO DE QUERETARO.**- SECRETARIA DE MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL, SUBSECRETARIA DE MINAS E INDUSTRIA BASICA, 1992.

OTTO KOEFOED. - GEOSOUNDING PRINCIPLES,1 RESISTIVITY SOUNDING MEASUREMENTS. - ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPAÑY, AMSTERDAM-OXFORD-NEW YORK. 1979.

JOSE LUIS SEARA. – TESIS DOCTORAL. – DEVELOPMENTS IN ELECTRICAL PROSPECTING METHODS. – THE UNIVERSITY OF WESTERN ONTARIO. - FACULTY OF GRADUATE STUDIES. JUNE 1977.

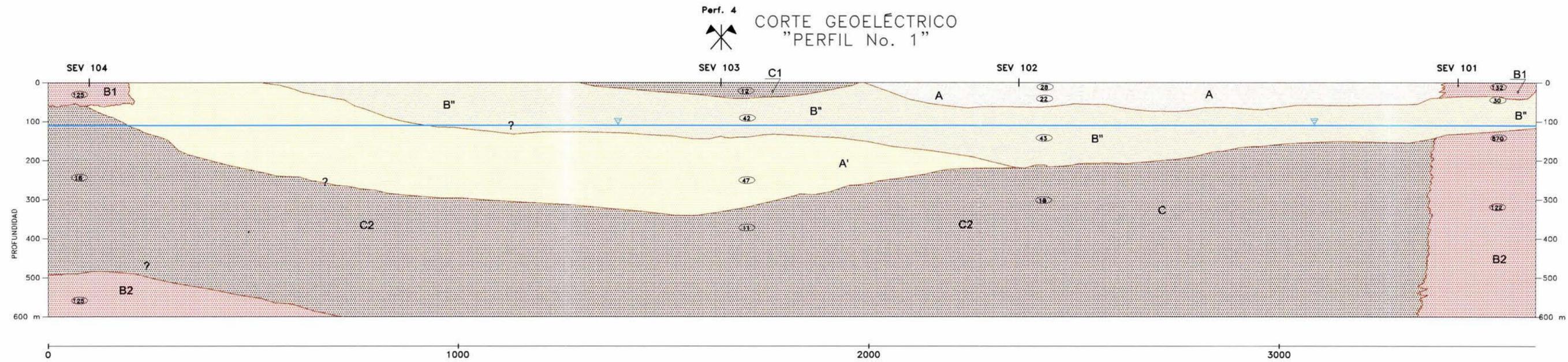
ERNESTO ORELLANA.-PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA EN CORRIENTE CONTÍNUA.-

V. KELLER Y FRISCHLNECHT.-ÉLECTRICAL METHODS IN GEOPHYSICAL PROSPECTING.-PERGAMON PRESS.-OXFORD.-FIRST EDITION 1966.

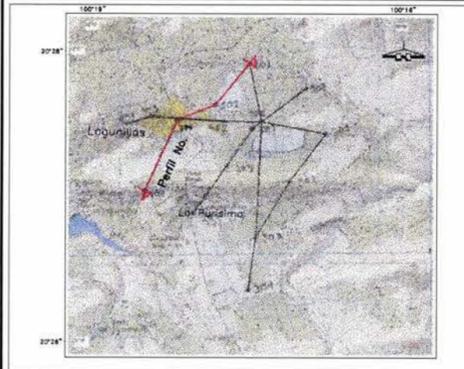
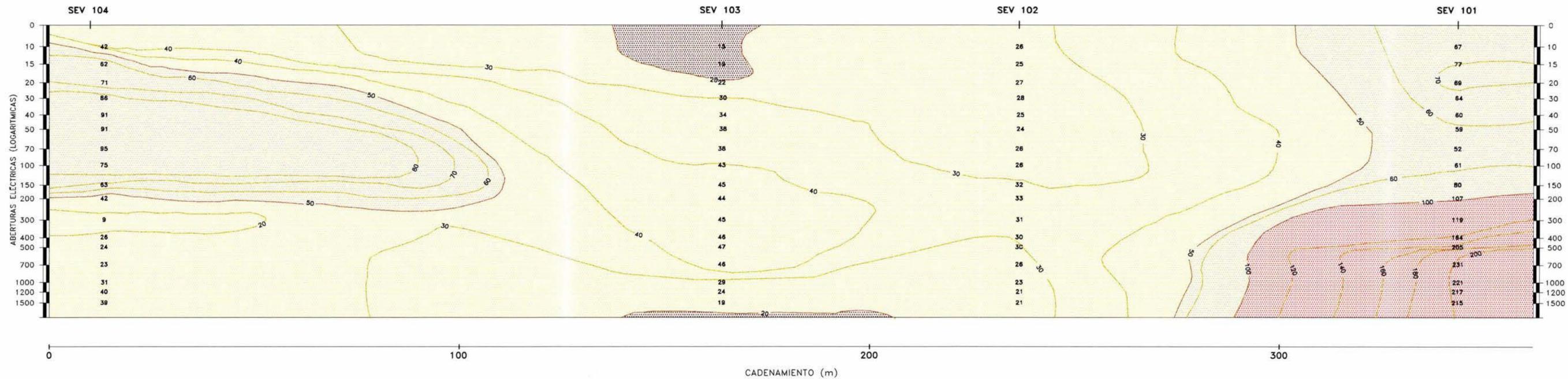
MARIO MONTES MATA.-TESIS PROFESIONAL.-METODO ELECTRICO RESISTIVO APLICADO A LA BUSQUEDA DE CAVIDADES EN ZONAS URBANAS.- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.-FACULTAD DE INGENIERIA. 1981.

GABRIELA VANESSA ZAVALA SÁNCHEZ.-TESIS PROFESIONAL.-MODELO GEOELÉCTRICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE QRO. –UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.-FACULTAD DE INGENIERIA. 2002.

ANEXO 1
PLANOS



PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES
"PERFIL No. 1"

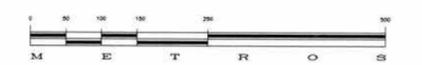


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

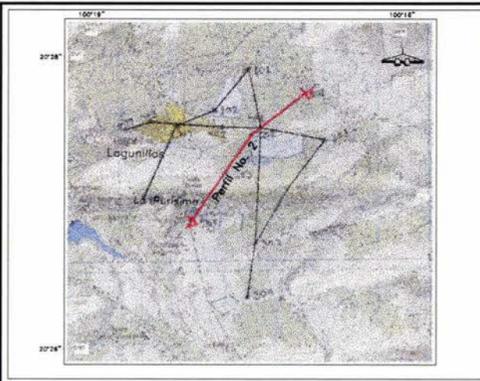
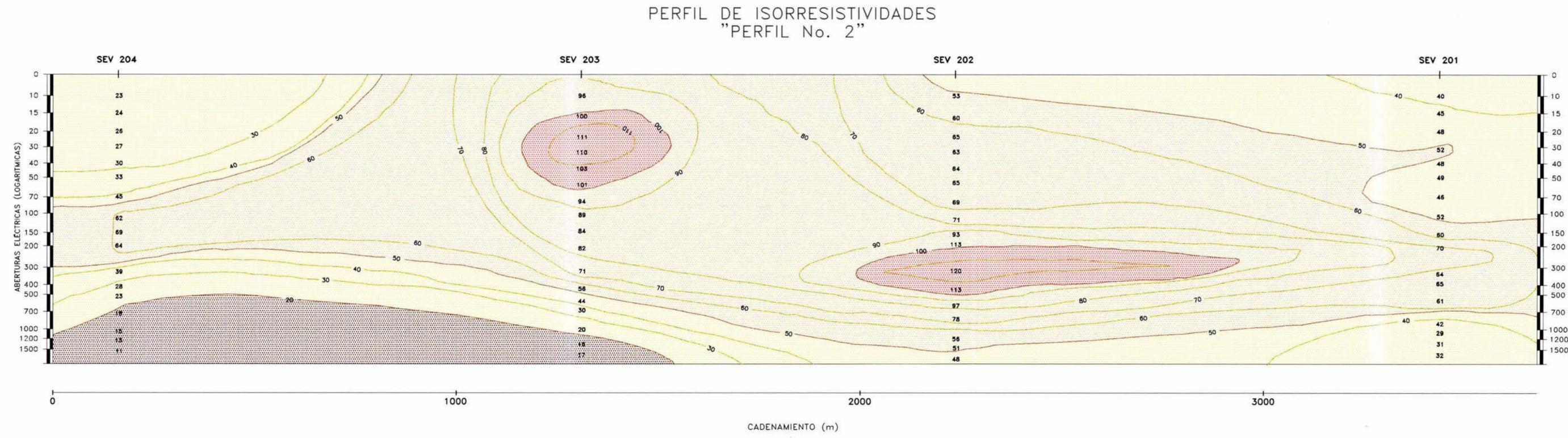
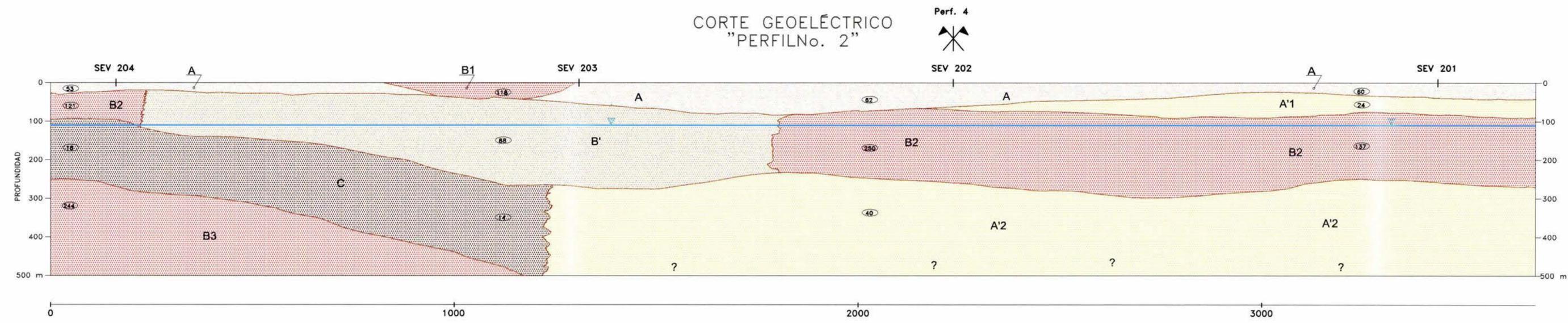
Símbolos

Sondeo eléctrico vertical	SEV 101
Resistividad (ohm-m)	
Contacto geológico	
Contacto inferido	?
Curvas de isorresistividades	
Nivel freático	
Cruce de Sección	

Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Possible Correlación Geológica
A	22 - 28	50 - 60	Unidad de resistividad baja a media, se localiza bajo el SEV 102 encontrándose saturada de agua.	Toba vitrocristalina
A'	43 - 47	140 - 160	Unidad de resistividad media, se localiza bajo los SEV 102 y 103.	Toba vitrocristalina muy alterada
B1 B2	122 - 670	50 - 260	Unidad con una resistividad alta, se presenta como un macizo rocoso sano.	Basalto
B''	30 - 43	80 - 100	Unidad de resistividad media, se presenta como un macizo fracturado y saturado de agua.	Basalto altamente fracturado
C1 C2	11-18	200 - 300	Unidad de resistividad baja, se presenta como posible basamento.	Toba arcillosa



TESIS PROFESIONAL		
Perfil No. 1		
PLANO:		
UBICACIÓN:	Valle de Lagunillas, Mpio. de Huimilpan, Querétaro, Qro.	
NOMBRE:	Raúl Huicochea Ortiz	
CLAVE:	ESCALA:	FECHA:
PCLAG-1.dwg	Según Gráfica	2003.

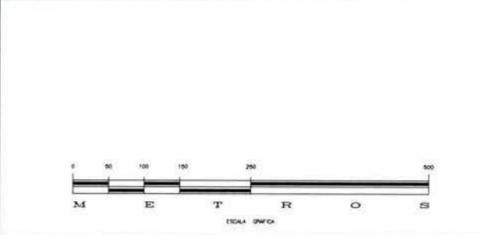


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

Símbolos

Sondeo eléctrico vertical	SEV 101
Resistividad (ohm-m)	
Contacto geológico	
Contacto inferido	?
Curvas de isoresistividades	
Nivel freático	
Cruce de Sección	

Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Posible Correlación Geológica
A	53 - 62	25 - 80	Unidad de resistividad media - alta, se presenta bajo los SEV 201, 202 y 204.	Toba vitrocristalina
A'1	24	240 - 250	Unidad con baja resistividad, se presenta bajo el SEV 201.	Toba vitrocristalina alterada
A'2				
B'1	121 - 250	60 - 220	Unidad de resistividad alta, se presenta como un macizo rocoso de buena calidad.	Basalto
B'2				
B'3				
B'	88	100 - 200	Unidad de resistividad alta, se presenta con posibles fracturas y/o saturado de agua.	Basalto fracturado
C	14 - 18	150 - 200	Unidad con baja resistividad, se presenta bajo el SEV 204.	Toba arcillosa



TESIS PROFESIONAL

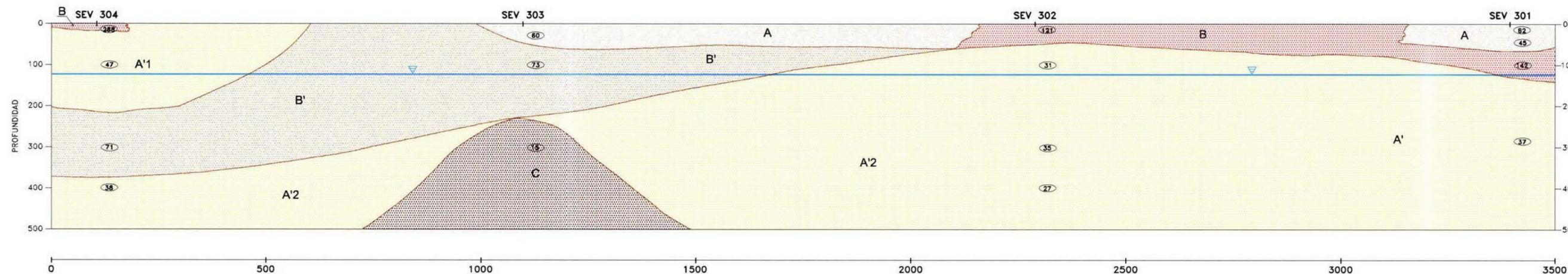
Perfil No. 2

UBICACIÓN: Valle de Lagunillas, Mpio. de Huimilpan, Querétaro, Qro.

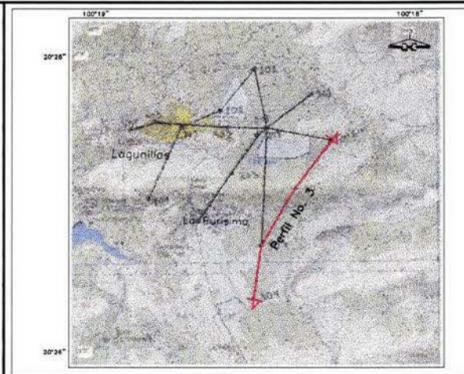
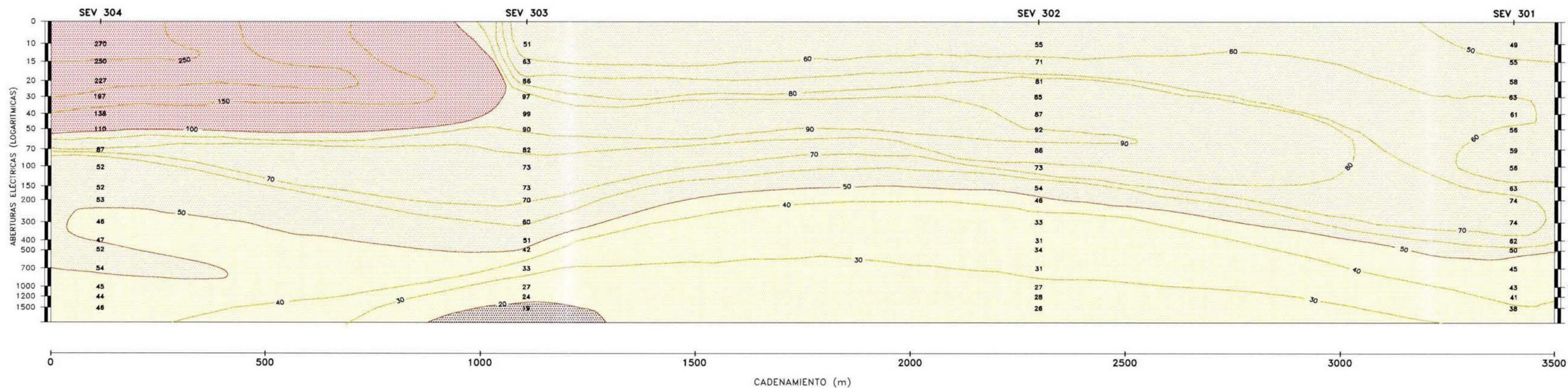
NOMBRE: **Raúl Huicochea Ortiz**

CLAVE: PCLAG-2.dwg ESCALA: Según Gráfica FECHA: 2003

CORTE GEOELÉCTRICO "PERFIL No. 3"



PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES "PERFIL No. 3"

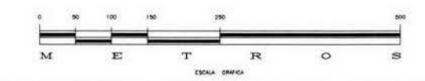


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

Símbolos

Sondeo eléctrico vertical	SEV 101
Resistividad (ohm-m)	40
Contacto geológico	—
Contacto inferido	?
Curvas de isoresistividades	—
Nivel freático	▽

Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Posible Correlación Geológica
A	45 - 82	50 - 60	Unidad de resistividad media, se presenta bajo los Sev 301 Y 303.	Toba vitrocristalina
A'1	27 - 47	120 - 400	Unidad de resistividad baja-media, se presenta aparentemente saturada de agua.	Toba vitrocristalina muy alterada
A'2	71 - 73	150 - 300	Unidad de resistividad muy alta, se comporta como un macizo sano de buena calidad.	Basalto
B	121 - 142	50 - 80	Unidad de resistividad alta, se presenta como un material fracturado y saturado de agua.	Basalto fracturado o saturado
B'	71 - 73	150 - 300	Unidad de resistividad alta, se presenta a profundidades muy bajas alrededor de los 300 m.	Toba arcillosa
C	15	250	Unidad de resistividad baja, se presenta a profundidades muy bajas alrededor de los 300 m.	Toba arcillosa



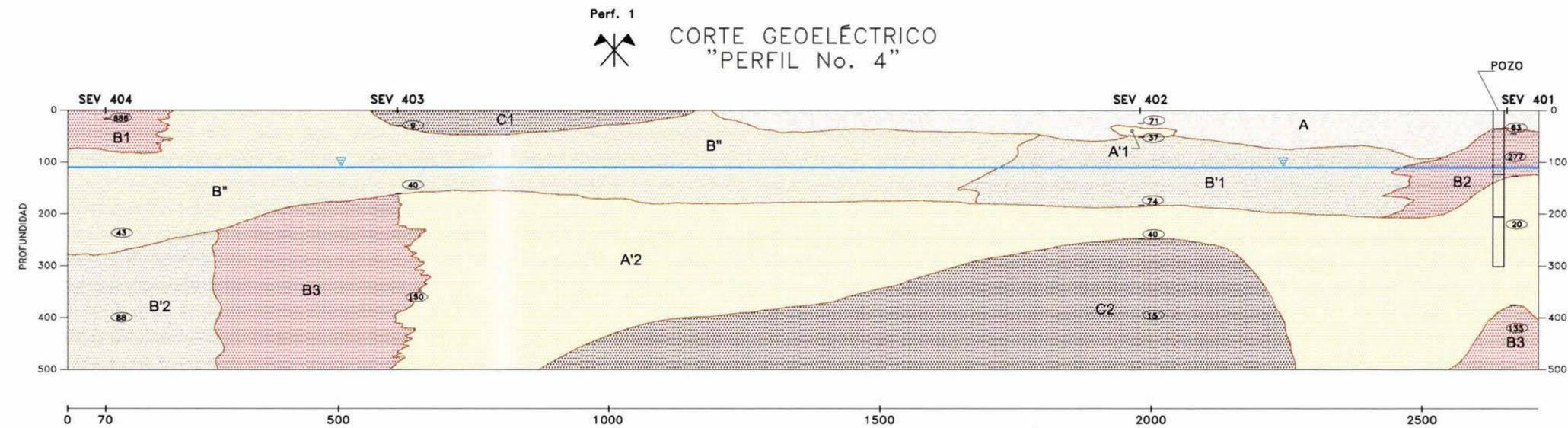
TESIS PROFESIONAL

PLANO: Perfil No. 3

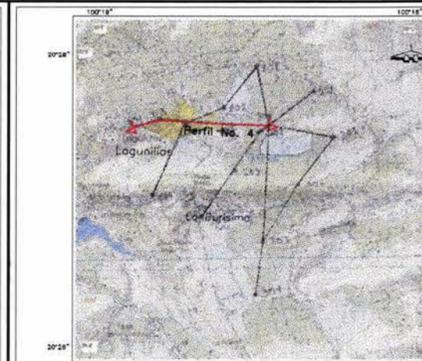
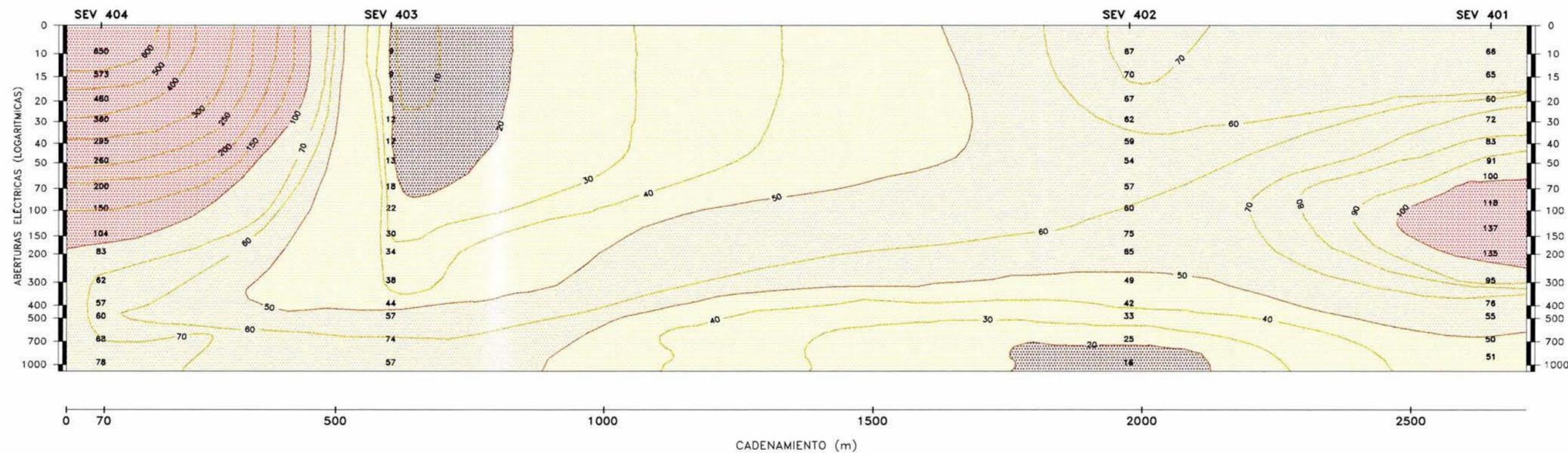
UBICACIÓN: Valle de Lagunillas, Mpio. de Huimilpan, Queretaro, Qro.

NOBRE: Raúl Huicochea Ortiz

CLAVE: PCLAG-3.dwg ESCALA: Según Gráfica FECHA: 2003



PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES
"PERFIL No. 4"

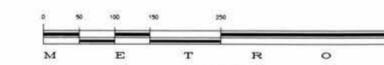


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

Símbolos

- Sondeo eléctrico vertical _____ SEV 101
- Resistividad (ohm-m) _____
- Contacto geológico _____
- Contacto inferido _____ ?
- Curvas de isoresistividades _____
- Nivel freático _____
- Cruce de Sección _____

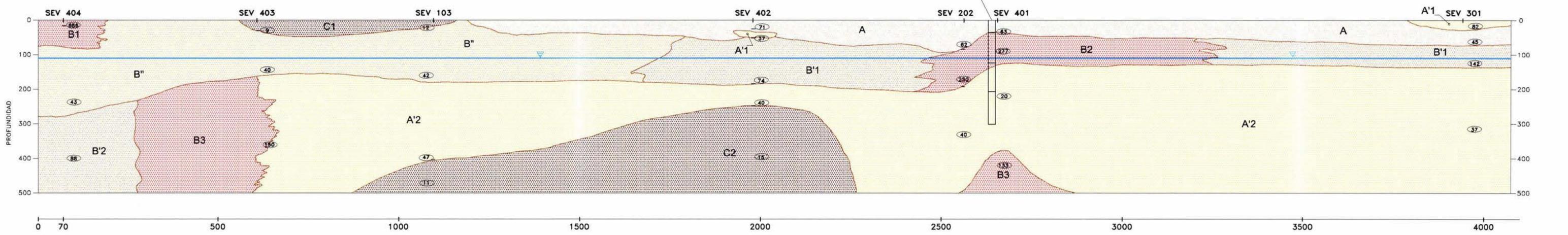
Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Posible Correlación Geológica
A	63 - 71	40 - 80	Unidad de resistividad media, se localiza bajo los SEV 402 y 401.	Toba vitrocristalina
A'1 A'2	20 - 40	60 - 340	Unidad de resistividad baja-media, se presenta como un material saturado de agua.	Toba vitrocristalina muy alterada
B1 B2 B3	133 - 686	80 - 320	Unidad de resistividad muy alta, se presenta como un macizo sano y de buena calidad.	Basalto
B'1 B'2	74 - 88	125 - 270	Unidad de resistividad alta, se presenta como un material altamente fracturado y saturado de agua.	Basalto muy fracturado o saturado
B''	40 - 43	100 - 170	Unidad de resistividad media, se presenta como un material altamente fracturado y saturado de agua.	Basalto altamente fracturado y saturado
C1 C2	15	100 - 230	Unidad de resistividad baja, se presenta a profundidades de aproximadamente 300 m a mayores.	Toba arcillosa



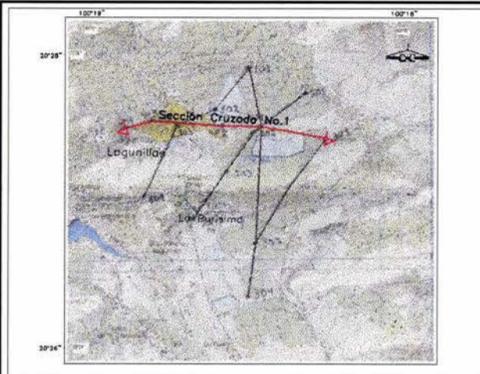
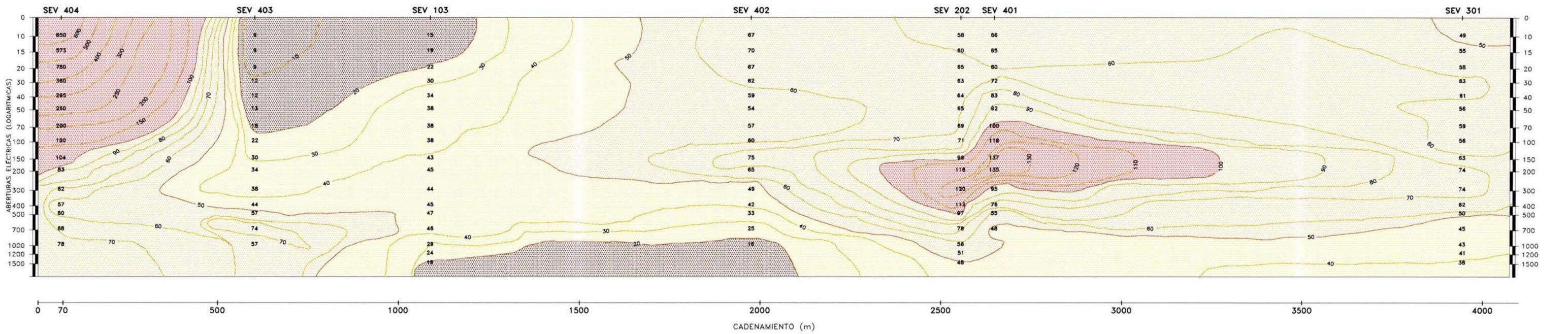
TESIS PROFESIONAL

PLANO: Perfil No. 4		
UBICACIÓN: Valle de Lagunillas, Mpio. de Huimilpan, Queretaro, Qro.		
NOMBRE: Raúl Huicochea Ortiz		
CLAVE: PCLAG-4.dwg	ESCALA: Según Gráfica	FECHA: 2003

CORTE GEOELÉCTRICO "SECCIÓN CRUZADA No. 1"



PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES "SECCIÓN CRUZADA No. 1"

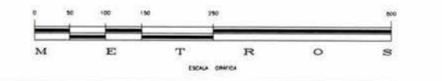


CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

Símbolos

Sondeo eléctrico vertical	SEV 101
Resistividad (ohm-m)	950
Contacto geológico	—
Contacto inferido	?
Curvas de isorresistividades	—
Nivel freático	▽

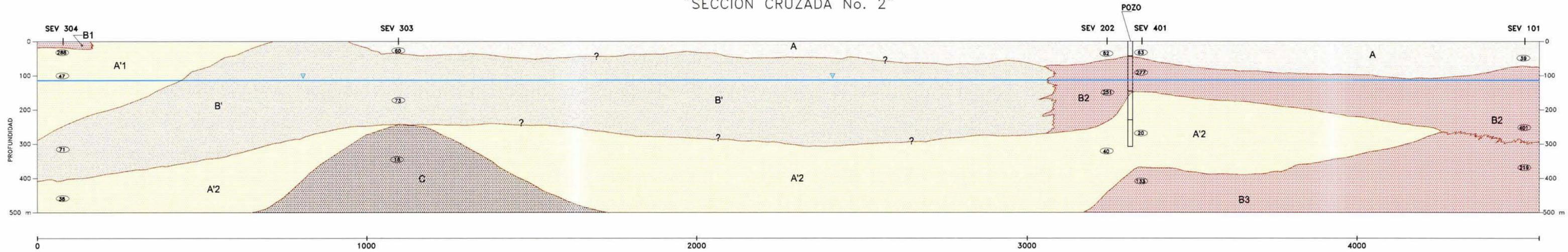
Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Possible Correlación Geológica
A	45-71	40-90	Unidad de resistividad media a alta, se localiza en superficie, solo en los sondes 401, 202 y 402.	Toba vitrocristalina
A'1	20-47	55-350	Unidad con una resistividad generalmente media.	Toba vitrocristalina muy alterada
B1	150-277	70-110	Unidad con una resistividad muy alta y presenta en forma discontinua lateral con A'.	Basalto
B'1	88-142	110-120	Unidad con resistividad muy alta, presentando un contacto lateral con A'.	Basalto fracturado o saturado
B''	40-43	110-230	Unidad mediana resistiva, se presenta muy fracturada y saturada de agua.	Basalto altamente fracturado
C1	11-15	50-250	Unidad con resistividad muy baja, se presenta como una de las últimas capas.	Toba arcillosa



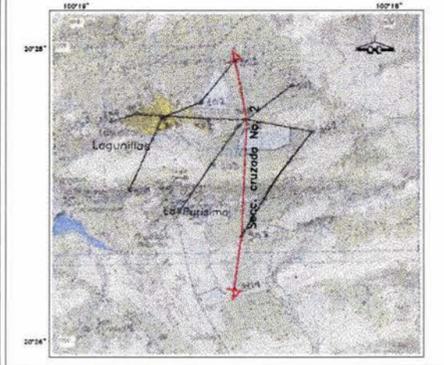
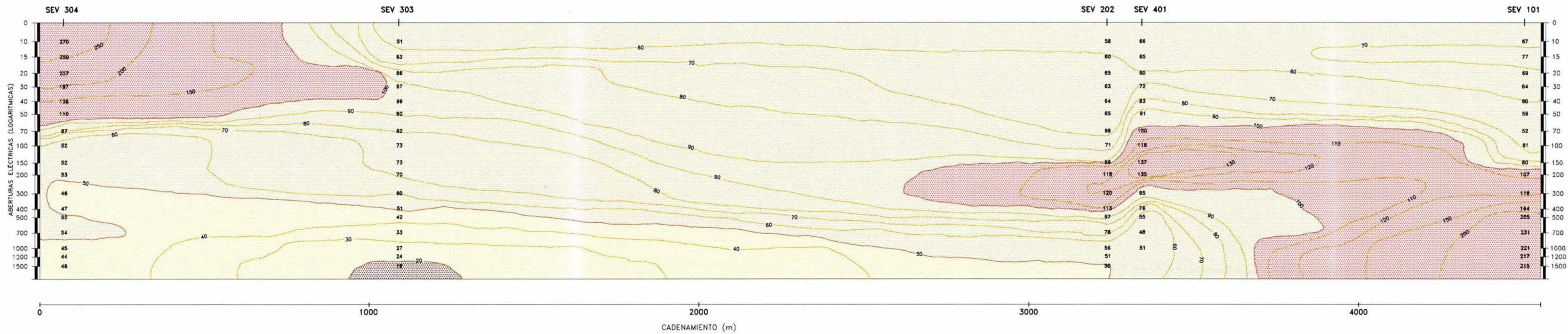
TESIS PROFESIONAL

PLANO:	Sección cruzada No. 1		
UBICACIÓN:	Valle de Legunillas, Mpio. de Huimilpan, Queretaro, Qro.		
NOMBRE:	Raúl Huicochea Ortiz		
CLAVE:	ESCALA:	FECHA:	
SCLAC-1.dwg	Según Gráfica	2009.	

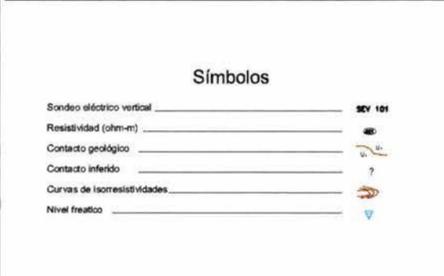
CORTE GEOELÉCTRICO
"SECCIÓN CRUZADA No. 2"



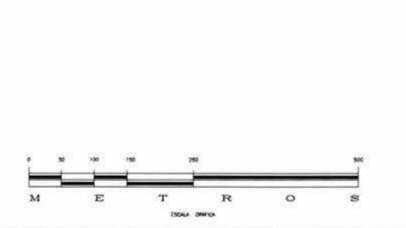
PERFIL DE ISORRESISTIVIDADES
"SECCIÓN CRUZADA No. 2"



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



Unidad Geofísica	Resistividad (ohm-m)	Espesor (m)	Descripción de la roca	Posible Correlación Geológica
A	39-63	30-100	Unidad de resistividad media a alta, se presenta bajo los SEV 101, 401, 202 y 303.	Toba riolítica
A'1	20-47	80-220	Unidad de resistividad baja a media, se presenta como un material saturado de agua.	Toba vitrocristalina alterada
A'2	20-47	80-220	Unidad de resistividad baja a media, se presenta como un material saturado de agua.	Toba vitrocristalina alterada
B1	251-401	80-170	Unidad de resistividad muy alta, se presenta como un macizo rocoso de buena calidad.	Basalto
B2	251-401	80-170	Unidad de resistividad muy alta, se presenta como un macizo rocoso de buena calidad.	Basalto
B3	251-401	80-170	Unidad de resistividad muy alta, se presenta como un macizo rocoso de buena calidad.	Basalto
B'	71-219	170-280	Unidad de resistividad alta a muy alta, se presenta como un material fracturado y/o saturado de agua.	Basalto fracturado o saturado
C	16	10-240	Unidad de resistividad muy baja, se presenta como una de las últimas capas.	Toba arcillosa



TESIS PROFESIONAL

PLANO: Sección cruzada No. 2

REGIÓN: Valle de Lagunillas, Mpio. de Huimilpan, Querétaro, Qro.

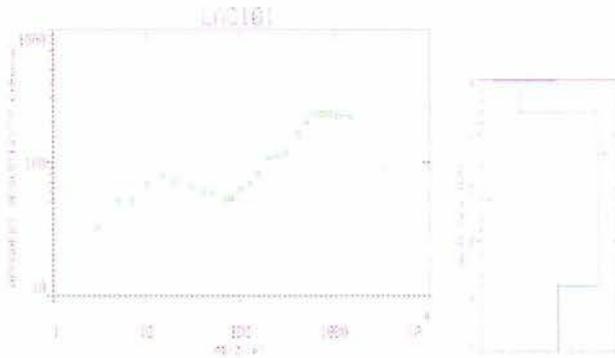
AUTOR: Raúl Huicochea Ortiz

CLAVE: SCLAG-2.dwg ESCALA: Según Gráfica FECHA: 2005.

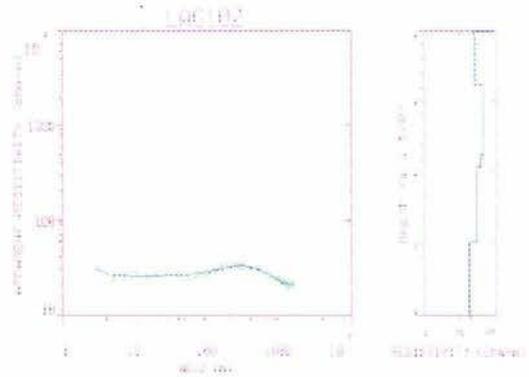
ANEXO II
RESULTADOS DEL PROGRAMA RESIX.P

La interpretación del perfil no.1, por medio del programa resixp arrojó las siguientes graficas y modelos de resistividades:

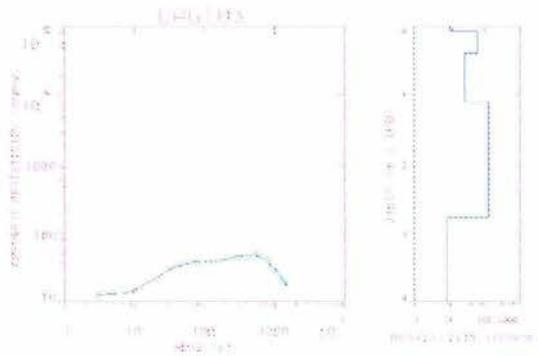
SEV 101



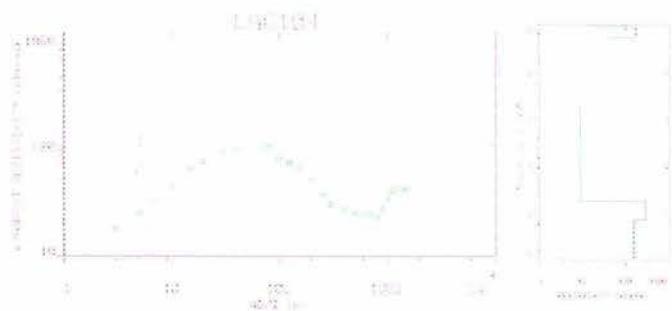
SEV 102



SEV 103

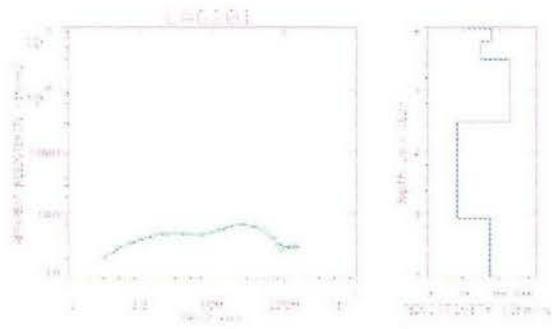


SEV 104

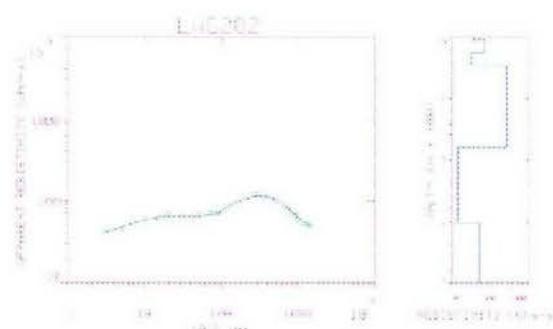


La inversión del perfil no.2, realizada por medio del programa Resixp arrojo las siguientes graficas y modelos de resistividades:

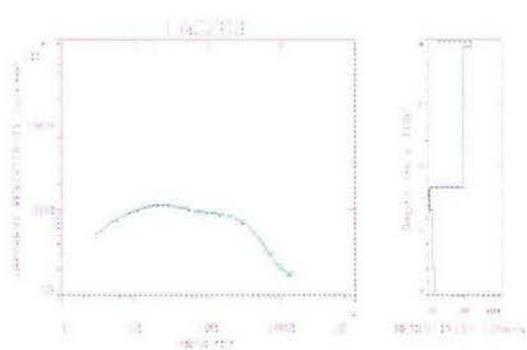
SEV 201



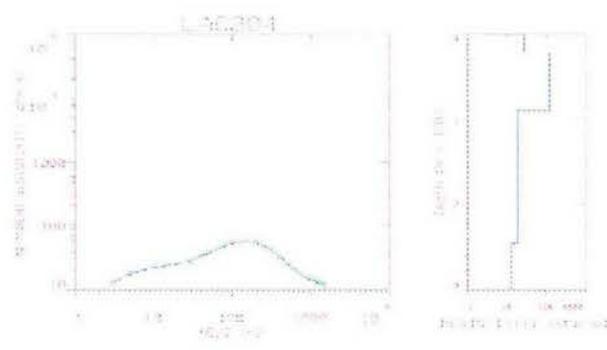
SEV 202



SEV 203

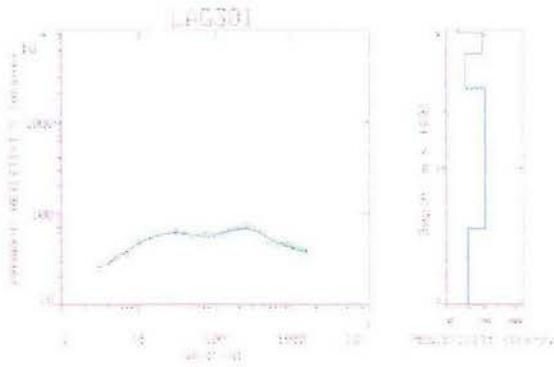


SEV 204

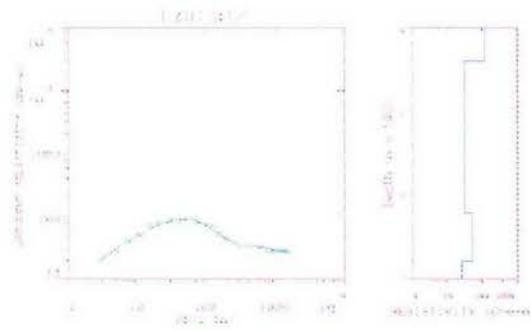


La interpretación del perfil no.3, por medio del programa resixp arrojó las siguientes graficas y modelos de resistividades:

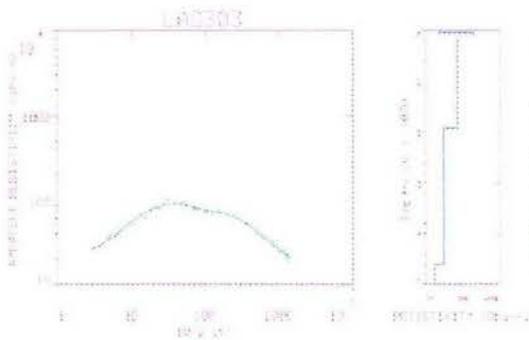
23- SEV 301



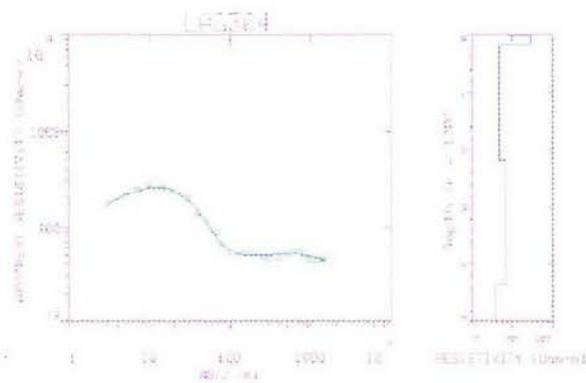
SEV 302



SEV 303



SEV 304



La interpretación del perfil no.1, por medio del programa resixp arrojó las siguientes graficas y modelos de resistividades:

