



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón
para Propuesta de Plan de Explotación”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentada Por:

Francisco Javier Montalván Toala.

GUAYAQUIL- ECUADOR

2008

AGRADECIMIENTOS

A mi Sr. Jesús Cristo y a la Santísima Virgen María.

A mis Padres y a mi hermana por su apoyo y comprensión incondicional.

A mi Director, Dr. Paúl Carrión por el apoyo brindado en la elaboración de este proyecto de tesis, por sus valiosos consejos en mi formación profesional.

Al Dr. Fernando Morante por sus consejos y la oportunidad que me brindó de ser parte de su grupo de Investigación.

A la Junta Regional de Agua de Olón (JRAO), a su administración, Sr. Emilio Rodríguez, Sr. Plúas, Sr. Pozo y a todos aquellos que con la logística, atención y bondad ayudaron para la elaboración de este trabajo.

A la Ing. Verónica Ramos, Ing. Juan Guerrero, Sr. Daniel Garcés, Ing. Samantha Jiménez, Ing. Juan Carlos Pindo, por los buenos momentos compartidos.

A los Proyectos ECU/8/026: Caracterización de Acuíferos Costeros de la PSE y RLA/8/041: Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros, proyectos que brindaron toda la logística para culminar este trabajo, en especial a Luis Toro y Thomas Vitvar.

Al Programa Desarrollo de la PSE, en especial a su director MAP. Kléber Morán por su colaboración en este proyecto.

A mis compañeros de clases, especialmente: Javier Arias, Juan G., Guillermo, Mario, José Carlos y Briyimaría.

A mis amigos del área de Ing. de Minas: Ing. Griselda, Sonia, Daniela, Soraya.

Al M.Sc. Byron Fun-Sang y a la Ing. Paola Romero por su ayuda, apoyo y consejos.

A las personas que ayudaron en el trabajo de campo: Ing. Honorio Morán, José, Javier P., Julio, Carlos, Javier J., Edson, Faustino, Sr. Castillo.

También a mis tíos que siempre me aconsejaron: Esperanza, Juana, Lucila, Fermín, Pepé, Kléber y a mis primos: Andrés, Freddy, Edward, Ricardo, Byron, Luis.

Y a todos quienes de una u otra forma, me han ayudado para llevar adelante los propósitos de ser un buen profesional de Ingeniería de Minas.

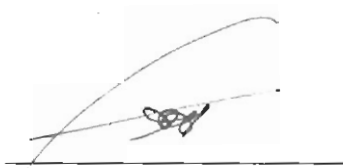
DEDICATORIA

A mis Padres

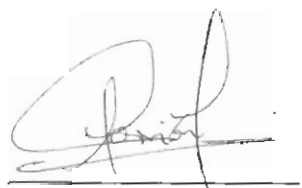
A mi Hermana

A mis Abuelos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Edison Navarrete C.
SUB DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Dr. Paúl Carrión M.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Calle
VOCAL

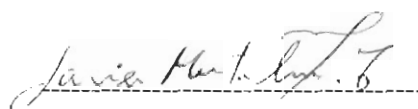


Dr. Fernando Morante
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Francisco Javier Montalván.

RESUMEN

Debido a que algunas comunidades de la Península de Santa Elena (PSE) no cuentan con agua potable por parte de la empresa AGUAPEN encargada de la distribución del líquido, las comunas de esta parte del litoral ecuatoriano se han organizado en Juntas de Agua Potable las que administran y distribuyen el recurso.

La Comuna Olón se provee de agua potable por medio de pozos. En este sector existen 7 pozos que son administrados por la **Junta Regional de Agua (JRAO)**, pero solo 3 están en funcionamiento.

Este proyecto consistió en caracterizar geoelectricamente el acuífero para lo cual se realizaron 39 SEV en el área de estudio para establecer nuevos sitios para la construcción de pozos, estimar las reservas (4.2 millones de metros cúbicos) para que el recurso sea gestionado de una manera sostenible y también establecer si la intrusión salina se está haciendo presente. Además se realizaron análisis químicos, medición de niveles en los pozos y pruebas de dilución con el que se puede tener un aproximado de la velocidad horizontal del acuífero.

Los resultados aquí presentados nos permiten hacer una propuesta para la ubicación y explotación de agua subterránea.

Además cabe mencionar que esta tesis es parte de los proyectos internacionales, ECU/8/026: Caracterización de Acuíferos Costeros de la PSE y RLA/8/041: Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros, proyectos que son auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica, del programa del Organismo de las Naciones Unidas, y dirigidos por el Dr. Paúl Carrión de FICT, en el marco de un convenio de ESPOL con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
ÍNDICE GENERAL	
ABREVIATURAS	
SIMBOLOGÍA	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
CAPÍTULO I.	
I. ANTECEDENTES	
1.1 Preámbulo.....	1
1.2 Planteamiento del problema y Justificación.....	2
1.3 Elaboración de hipótesis.....	4
1.4 Ubicación del Área del Estudio.....	4
1.5 Proyectos e Informes del Sector.....	7
1.6 Metodología del Proyecto de Tesis.....	9
1.7 Objetivos.....	11
1.7.1 Objetivo General.....	11
1.7.2 Objetivos Especificos.....	11
CAPÍTULO II.	
<i>II. MARCO TEÓRICO</i>	
2.1 Conceptos de Hidrología.....	12
2.1.1 Ciclo Hidrológico.....	12
2.1.2 Importancia de las aguas subterráneas.....	14
2.1.3 Factores que influyen en el almacenamiento y la circulación de las	

aguas subterráneas.....	16
2.1.3.1 Porosidad.....	16
2.1.3.2 Permeabilidad y Transmisividad.....	17
2.1.4 Tipos de acuíferos.....	18
2.1.4.1 Acuífero: Poroso-Libre-Interior.....	19
2.1.4.2 Acuífero: Fisurado-Libre-Interior.....	20
2.1.4.3 Acuífero: Poroso-Confinado-Interior.....	21
2.1.4.4 Acuífero: Poroso-Libre-Costero.....	22
2.1.5 Balance hídrico de un acuífero.....	23
2.1.6 Recursos, reservas y sobreexplotación.....	24
2.1.7 Coeficiente de almacenamiento.....	24
2.1.8 Intrusión Marina.....	25
2.1.9 Tipos de acuíferos donde es posible realizar recarga artificial.....	25
2.2 Prospección Geofísica.....	26
2.2.1 Métodos mayores de la Prospección Geofísica.....	27
2.2.2 Métodos Geoeléctricos.....	28
2.2.3 Clasificación de los Métodos Geoeléctricos.....	28
2.2.4 Aplicaciones de los métodos Geoeléctricos de Prospección.....	30
2.2.5 Resistividad eléctrica de suelos.....	31
2.2.6 Método de las resistividades.....	34
2.2.7 Sondeo eléctrico vertical (SEV).....	36
2.2.7.1 Definición y generalidades.....	36
2.2.7.2 Método Schlumberger.....	39
2.2.7.3 Método Wenner.....	39

CAPÍTULO III.

III. INFORMACIÓN

3.1 Geomorfología.....	41
3.2 Estratigrafía.....	42
3.2.1 Grupo Ancón.....	42

3.2.2 Formación Socorro.....	42
3.2.3 Formación Zapotal.....	43
3.2.4 Depósitos Aluviales.....	43
3.3 Investigación Climatológica.....	43
3.3.1 Precipitaciones.....	43
3.3.2 Temperatura.....	45
3.3.3 Humedad.....	45
3.4 Red Hidrográfica.....	45
3.5 Investigación Hidrogeológica.....	46
3.5.1 Transmisividad.....	46
3.5.2 Permeabilidad.....	47
3.5.3 Porosidad.....	48
3.5.4 Coeficiente de Almacenamiento.....	48
3.5.5 Caudal de explotación.....	48

CAPÍTULO IV.

IV. TRABAJO DE CAMPO

4.1 Geología de Campo.....	49
4.2 Inventario de pozos.....	50
4.3 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).....	53
4.4 Toma de muestras de aguas de pozos.....	56
4.5 Ensayo de dilución, toma de datos de conductividad eléctrica.....	57

CAPÍTULO V.

V. TRABAJO DE OFICINA

5.1 Digitalización de Mapas e Integración en GIS.....	59
5.2 Procesamiento de Datos Sondeos Eléctricos Verticales.....	61
5.3 Determinación de la superficie Piezométrica.....	73
5.4 Determinación de velocidad del acuífero.....	74

CAPÍTULO VI.**VI. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

6.1 Sondeos Eléctricos Verticales.....	78
6.2 Calidad y usos del agua.....	78
6.3 Selección de sitios para perforación de pozos de agua.....	83
6.4 Estimación de reservas del acuífero.....	84
6.5 Propuesta de plan de explotación de aguas subterráneas.....	84

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87

REFERENCIAS**ANEXOS**

ABREVIATURAS

mm	Milímetro
m	Metro
m ³	Metros cúbicos
USD	Dólares americanos
Ω	ohmio
ρ	Resistividad
ρ_a	Resistividad aparente
R	Resistencia
I	Intensidad de corriente
ΔV	Diferencia de potencial
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical
°C	Grados centígrados
T	Transmisividad
K	Permeabilidad o Gradiente Hidráulico
P	Porosidad
V _H	Velocidad horizontal
CE	Conductividad Eléctrica

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO 1.	
Fig. 1.1. Ubicación de la Zona de Estudio.....	6
Fig. 1.2. Esquema Metodológico.....	10
CAPÍTULO 2.	
Fig. 2.1. Ciclo Hidrológico.....	14
Fig. 2.2. a) Porosidad Intergranular. b) Porosidad por Fracturación.....	17
Fig. 2.3. Acuífero Poroso- Libre- Interior.....	20
Fig. 2.4. Acuífero Fisurado-Libre- Interior.....	21
Fig. 2.5. Acuífero Poroso-Confinado-Interior.....	22
Fig. 2.6. Acuífero Poroso-Libre-Costero.....	23
Fig. 2.7 Esquema de Intrusión Marina en un Acuífero Costero.....	26
Fig. 2.8. Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales.....	34
Fig. 2.9. Método de Resistividades.....	36
Fig. 2.10. Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas.....	37
Fig. 2.11.- Método Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos.....	39
Fig. 2.12.- Método Wenner. La distancia interelectródica pasa de a (AMNB) a n'a (A'M'N'B').....	40
CAPÍTULO 3.	
Fig. 3.1. Precipitaciones Manglaralto.....	44

Fig. 3.2. Mapa de precipitaciones.....	44
Fig. 3.3. Mapa de isotermas.....	45

CAPÍTULO 4.

Fig. 4.1. Columna Estratigráfica realizada en el río Olón (campo de pozos).....	51
Fig. 4.2. Pozo operativo de extracción de agua subterránea de la JRAO.....	52
Fig. 4.3.- Pozo fuera de uso de la JRAO.....	53
Fig. 4.4.- Ubicación de pozos.....	54
Fig. 4.5.- Realización de SEV en Olón.....	55
Fig. 4.6.- Resistivímetro Terrameter SAS-300B	56
Fig. 4.7.- Ubicación de SEV.....	58
Fig. 4.8.- Ubicación de Muestras de aguas.....	60
Fig. 4.9.- Colector de Aguas Lluvias.....	61
Fig. 4.10.- Sonda de Conductividad WTW LF 197 i	63
Fig. 4.11.- Vertido de la disolución del NaCl en el pozo.....	63

CAPÍTULO 5.

Fig. 5.1.- Hoja Geológica Olón-Delicias. Escala 1:50.000.....	65
Fig 5.2.- Hoja Topográfica Olón-Delicias. Escala 1:50.000.....	66
Fig 5.3.- Modelo de resistividades de un SEV en WINSEV 6.1.....	67
Fig. 5.4.- Modelo de resistividades de un SEV en WINSEV 6.1.....	81
Fig 5.5.- Comportamiento del pozo.....	84
Fig 5.6.- Prom. de las CE vs. Tiempo.....	84
Fig. 5.7.- Log10Prom CE vs. Tiempo.....	85

CAPÍTULO 6.

Fig. 6.1.- Clasificación de Riverside.....	87
--	----

Fig 6.2.- Mapa de iso-resistividades.....	91
Fig 6.3.- Campo de pozos de la JRAO.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
CAPÍTULO 1.	
Tabla 1.1.- Datos de la hoja topográfica Olón.....	5
Tabla 1.2.- Datos de la hoja topográfica Delicias.....	6
CAPÍTULO 2.	
Tabla 2.1.- Datos del agua dulce de la hidrosfera.....	15
Tabla 2.2.- Tipos de Acuíferos.....	19
Tabla 2.3.- Valores de coeficientes de almacenamiento.....	25
Tabla 2.4.- Formaciones frecuentes de recarga artificial.....	26
Tabla 2.5.- Clasificación de los Métodos Geoeléctricos.....	30
CAPÍTULO 3.	
Tabla. 3.1.- Calificación estimativa para diferentes valores de Transmisividad... 46	46
Tabla. 3.2.- Calificación estimativa para diferentes valores de permeabilidad.....	47
Tabla. 3.3.- Porosidad de diversas rocas.....	48
CAPÍTULO 4.	
Tabla 4.1. Características de pozos de extracción de aguas subterráneas en Olón.....	52
Tabla 4.2.- Coordenadas y datum de los SEV.....	57
Tabla 4.3.- Pozos vs. Coordenadas.....	59
Tabla 4.4.- Datos de conductividad eléctrica a diferentes profundidades del pozo #8.....	62

CAPÍTULO 5.

Tabla 5.1.- Estandarización para interpretación.....	68
Tabla 5.2.- Modelos de resistividades.....	80
Tabla 5.3.- Niveles de agua en pozos.....	81
Tabla 5.4.- Valores de x para el cálculo de la velocidad.....	83
Tabla 5.5.- Valores de x para el cálculo de la velocidad.....	83
Tabla 5.6.- Velocidad horizontal.....	85

CAPÍTULO 6.

Tabla 6.1.- Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside.....	89
Tabla 6.2. Datos de Análisis Químicos.....	90

CAPÍTULO I

I. ANTECEDENTES

1.1 Preámbulo.

La Península de Santa Elena (PSE) cuenta con un clima tropical árido a semiárido. Las temperaturas medias anuales son de aproximadamente 24°C. Las precipitaciones anuales son inferiores a 251 mm y aún en la época invernal de los últimos años las lluvias son escasas, motivo por el cual la zona no cuenta con ríos importantes que la abastezcan de agua todo el año. La PSE cuenta con acuíferos que han sido caracterizados geofísicamente y algunos están siendo explotados por las comunas del sector y son administrados por las Juntas de Agua.

En el sector de la Comuna Olón en la actualidad se está explotando agua subterránea y con un previo tratamiento se utiliza para el abastecimiento de agua potable y es administrada por la **Junta Regional de Agua de Olón (JRAO)**.

El acuífero de Olón se viene explotando desde hace aproximadamente 25 años. El agua extraída se comercializa en tres categorías, que más adelante se detalla.

Esta investigación es importante para completar información geofísica de estudios anteriores, lo que nos permite hacer una comparación con estudios recientes, conociendo de esta manera el comportamiento del acuífero y realizando una proyección de sus reservas para los próximos años, consiguiendo de esta manera una explotación sostenible.

1.2 Planteamiento del Problema y Justificación.

¿Incide la Caracterización Geoeléctrica para la Propuesta del Plan de Explotación?

Debido a que la Península de Santa Elena posee un clima tropical árido a semiárido y además, no cuenta con ríos que mantengan su caudal todo el año, posee un déficit en cuanto al abastecimiento de agua, es por ello que la Comisión de Estudios para la Cuenca del Río Guayas (CEDEGÉ) provee de agua cruda a la empresa AGUAPEN la misma que es potabilizada en la planta de Atahualpa (1).

Los requerimientos del recurso por parte del JRAO para cubrir las necesidades básicas de los pobladores que no lo era totalmente y la empresa que provee de agua potable a la PSE, AGUAPEN no llega con sus redes de distribución a la parte norte de la península por lo que se han visto en la necesidad de explotar el acuífero que poseen e implementar un sistema que consiste en extraer agua subterránea, seguido de un tratamiento previo y sencillo para distribuirla a la población. El costo a pagar por el líquido vital varía dependiendo de la categoría a la que la JRAO haya calificado al consumidor, así tenemos tres tipos que son las siguientes:

- Tipo 1: 0.30 USD/m³ (Comuneros)
- Tipo 2: 0.54 USD/m³ (Residencial)
- Tipo 3: 0.85 USD/m³ (Industrial)

De las categorías anteriormente mencionadas la más usada es la de tipo 1 que es la que consumen los habitantes de las comunas.

La empresa AGUAPEN, comercializa el agua potable dependiendo de la cantidad usada por el consumidor, así tenemos:

- Tipo 1: 0.35 USD/m³ (0 - 8 m³)
- Tipo 2: 0.45 USD/m³ (9 - 15 m³)
- Tipo 3: 0.55 USD/m³ (16 - 30 m³)
- Tipo 4: 0.83 USD/m³ (31 m³ en adelante)

La Junta de Agua de Olón posee siete pozos para la extracción de agua, tres están en uso y han sido denominados Pozo 2, Pozo 3 y Pozo 7, los demás pozos han terminado su vida útil debido a su bajo rendimiento y probablemente al mal diseño del pozo. Los pozos activos están siendo explotados a jornadas que pueden llegar hasta 15 horas diarias debido a la demanda del recurso que existe por parte de los usuarios.

En la temporada de playa en que la PSE recibe la mayor cantidad de turistas (Enero a Mayo), la demanda por el líquido aumenta, lo cual hace que las estaciones de bombeo incrementen el tiempo de operación y con esto poner en peligro la sostenibilidad del acuífero que se está haciendo evidente debido a la disminución del caudal de los pozos. Además, existen pozos que no pertenecen a la JRAO, de los cuales, no se tienen datos para conocer el rendimiento de los mismos debido a que son privados. Debido a que la red

primaria se instaló hace aproximadamente veinticinco años, parte de ella pasa por propiedades privadas, se hace difícil el mantenimiento y, posee problemas de fugas, es por ello que se cambiará la red de distribución, la misma que según un estudio realizado por el Fondo Ítalo Ecuatoriano debe ser paralelo a la vía.

El sistema que posee la Junta Regional de Olón, abastece de agua a cinco comunidades que son: Olón, Curia, San José, La Núñez y La Entrada. Cada comuna esta representada por un delegado en el directorio de la JRAO.

Estudios anteriores realizados por el MIDUVI (2, 3) en busca del líquido se han basado en la prospección geoelectrica por Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), método con el que se ha conseguido establecer el acuífero Olón.

Este proyecto de tesis de grado se basa en la caracterización geoelectrica (SEV) del acuífero, tomando en cuenta también análisis químicos de aguas, niveles de pozos y pruebas de dilución para proponer un plan de explotación *en los lugares idóneos que la caracterización establezca.*

1.3 Elaboración de hipótesis.

Para el siguiente Proyecto de Tesis se utilizará la siguiente hipótesis:

La Caracterización Geoelectrica incide en la Propuesta del Plan de Explotación.

Variable X: Caracterización Geoelectrica.

Variable Y: Propuesta del Plan de Explotación.

1.4 Ubicación del Área del Estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena-Ecuador en la Península de Santa Elena a 73 km. de la ciudad de Santa Elena, la Comuna Olón pertenece a la parroquia Manglaralto que tiene una población de 23.423 habitantes según el VI Censo de población y vivienda del 2001 (INEC).

Cartográficamente la zona de estudio se ubica en las hojas del IGM (Instituto Geográfico Militar) denominadas Olón y Delicias. Los datos de las mismas se detallan a continuación:

Hoja:	Olón
Código:	MIV-E1-3488-IV
Serie:	J722
Escala:	1: 50.000
Dato Horizontal:	Provisional de 1956 para América del Sur (La Canoa- Venezuela)
Dato Vertical:	Nivel medio del mar estación mareográfica de La Libertad, Provincia del Guayas, 1959
Zona:	17

Tabla 1.1.- Datos de la hoja topográfica Olón.

Fuente: Instituto Geográfico Militar del Ecuador.

Hoja:	Delicias
Código:	MIV-E2-3488-I
Serie:	J721
Escala:	1: 50.000
Dato Horizontal:	Provisional de 1956 para América del Sur (La Canoa- Venezuela)
Dato Vertical:	Nivel medio del mar estación mareográfica de La Libertad, Provincia del Guayas, 1959
Zona:	17

Tabla 1.2.- Datos de la hoja topográfica Delicias.

Fuente: Instituto Geográfico Militar del Ecuador.

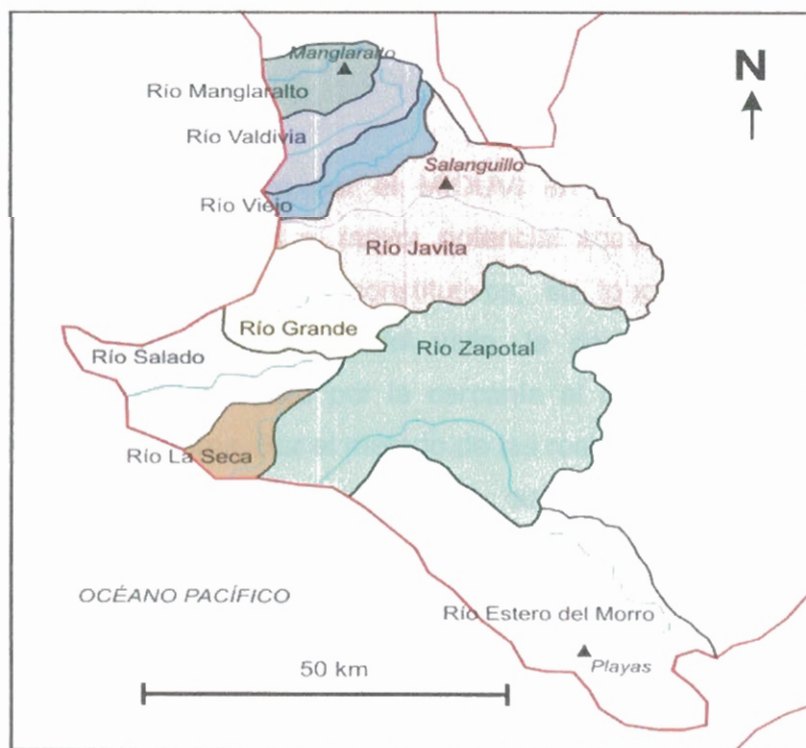


Fig. 1.1.- Ubicación de la zona de estudio

Fuente: Informe Evaluación Hidrogeológica Preliminar de la PSE (OIEA), 2007

1.5 Proyectos e Informes del Sector.

A pesar de que la PSE no cuenta con ríos que la abastezcan todo el año, en sector de Pechiche, Manantial, Chapucal, Río Verde, Prosperidad y Atahualpa, se han establecido tres unidades acuíferas, las cuales pueden ser utilizadas para riego, pero con ciertas limitaciones para algunos tipos de cultivos debido a la presencia de salinidad que posee el acuífero que depende de la distancia a la que se encuentre del mar (1).

En el sector de la JRAO con el financiamiento del estado ecuatoriano por medio del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), se han podido realizar estudios Geoeléctricos y el Fondo Ítalo-Ecuatoriano, ha realizado el estudio para cambiar la red primaria de distribución de agua paralela a la vía la misma que deberá estar culminada en el segundo semestre del presente año.

El estudio geofísico realizado por el MIDUVI en 1997, reporta que los depósitos aluviales presentan el mayor potencial acuífero en razón de la granulometría de los materiales constitutivos, su topografía plana y su confinamiento a las partes bajas del valle, la posibilidad de encontrar acuíferos es prometedora, pero por la cercanía al mar la intrusión salina podría afectar los acuíferos. Por el método de las resistividades se determinó la presencia de cuatro estratos, de los cuales dos son de interés hidrogeológico. Recomienda evitar la deforestación del valle, por cuanto en el futuro las recargas provenientes de las precipitaciones hacia los acuíferos podrían ser mínimas (2).

El estudio geofísico de 2004 por parte del MIDUVI, determina la presencia de cuatro horizontes, con una alternancia de capas permeables e impermeables con una litología variada compuesta por arena, gravilla, limo, arcilla y lutita.

Recomienda la perforación de pozos a profundidades de 25 a 30 m debido a que la capa permeable donde se encuentra el potencial acuífero no excede las profundidades mencionadas. Los pozos deben ser revestidos con tubería y tamices de ranura continua de acero o de PVC geomecánica de 8" de diámetro. Luego de la perforación del pozo piloto en un diámetro de 7 7/8" se deberá correr registros eléctricos de Potencial Espontáneo (SP) y Resistividad (NC16"-NL64"), con el objeto de definir el diseño de tubería y tamices más adecuados para el aprovechamiento óptimo del pozo, debiendo tomarse en consideración el perfil litológico (3).

El estudio realizado por el Fondo Ítalo-Ecuatoriano, realizado en el año 2006, consiste en determinar los diseños definitivos de la línea de conducción para las comunas Curía, San José, Las Núñez y la Entrada, realizando la reubicación y el cruce de los ríos por los puentes ya construidos, los mismos que tienen un período de diseño de 30 años (4).

En la actualidad en la PSE se llevan a cabo estudios sobre la problemática del agua.

La ESPOL lleva los siguientes proyectos:

- Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE), que consiste en que la PSE pueda ser sustentable aprovechando sus recursos naturales. Una de sus componentes consiste en aprovechar el recurso agua del subsuelo, para lo cual están utilizando el mencionado recurso para cultivos de corto y mediano ciclo.
- Exploración y elaboración de un inventario de acuíferos subterráneos en la Península de Santa Elena mediante utilización

de métodos eléctricos y re-interpretación de Diagrafías del Campo Ancón, el área de estudio de este proyecto se encuentra dentro de las hojas topográficas a escala 1:50.000, Salinas, Chanduy, Zapotal y Santo Tomás.

- Los proyectos ECU/8/026: “Caracterización de los Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena (PSE)” y RLA/8/041: “Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros”, los mismos que son auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

1.6 Metodología del Proyecto de Tesis.

La metodología de este proyecto comprende tres fases, las cuales se describen a continuación:

Información Preliminar (Fase I).- Comprende la investigación bibliográfica, consulta de estudios anteriores y actuales en la zona de estudio, para establecer la problemática del agua que existe en la zona de estudio.

Datos de Campo (Fase II).- En esta fase se lleva a cabo el trabajo de campo y con ello la toma de datos que consiste en el inventario de pozos existentes en la zona de estudio, análisis físico-químico de la calidad del agua de los pozos existentes, campaña geofísica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Interpretación y Resultados (Fase III).- Comprende la interpretación de los datos obtenidos en el campo, estimar las reservas del acuífero para poder

optimizar un plan de explotación de agua subterránea y culminar así este Proyecto de Tesis.

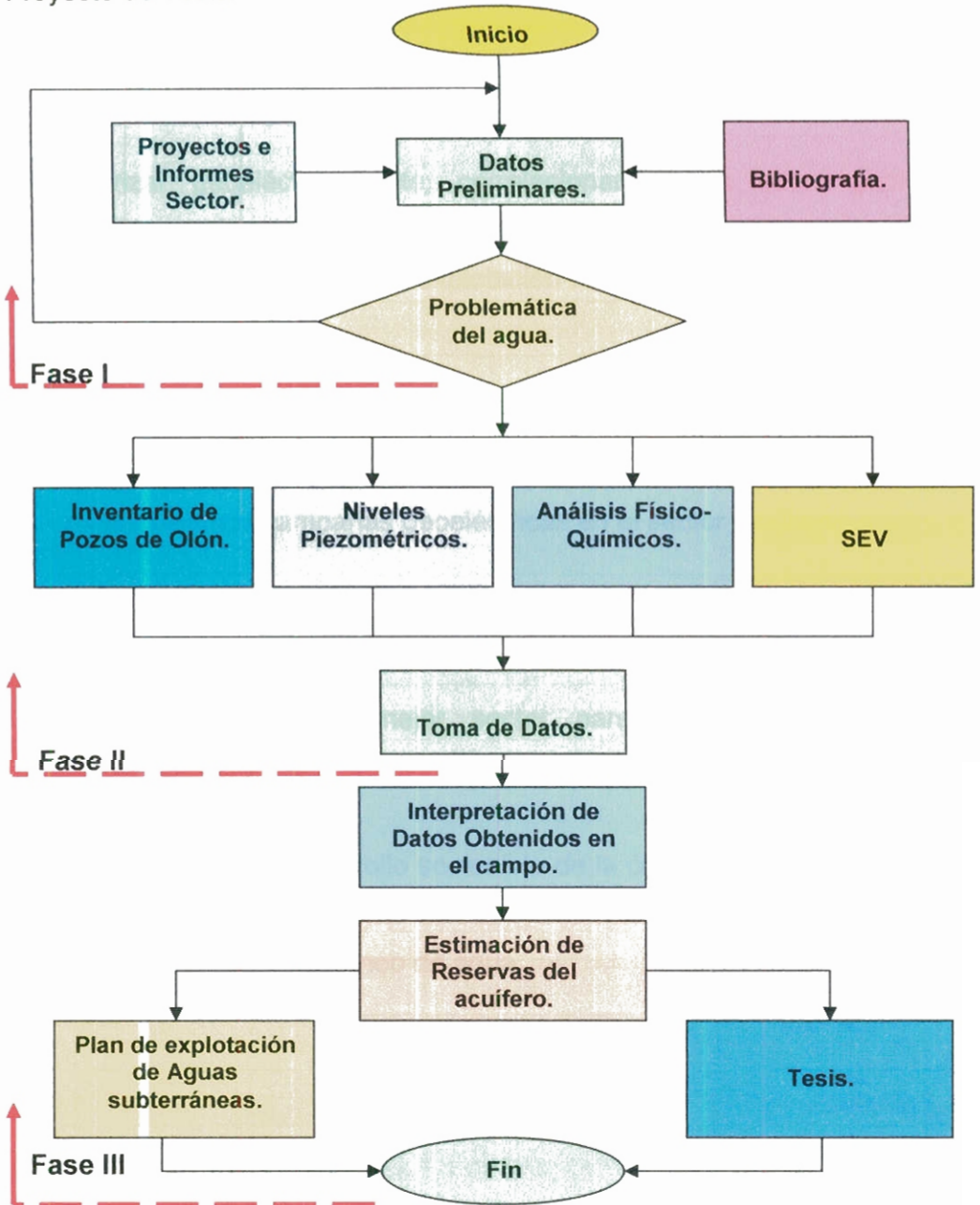


Fig. 1.2.- Esquema Metodológico

Fuente: Montalván F., 2007.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Caracterizar geoelectricamente; correlacionando con datos geológicos, niveles del acuífero, pruebas de dilución y análisis de aguas, el acuífero de Olón para proponer un plan de explotación de agua subterránea.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Realizar campañas geoelectricas en el sector de Olón.
- Estimar las reservas de agua en el acuífero.
- Seleccionar el mejor sector para la explotación de agua subterránea.
- Aportar al desarrollo sostenible de la comuna Olón y por ende a la Península de Santa Elena, orientando sobre el manejo eficaz del recurso subterráneo de agua.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos de Hidrología.

2.1.1 Ciclo Hidrológico.

El agua está en continuo movimiento, del océano a la tierra y de vuelta de nuevo en un ciclo interminable. Se cuenta a escala mundial con un volumen aproximado de 1.360 millones de Km^3 de agua, las aguas subterráneas corresponden aproximadamente a 8432 millones de Km^3 que son el 0.62%. El agua puede cambiar rápidamente de un estado de materia (sólido, líquido o gaseoso) a otro a las temperaturas y las presiones existentes en la superficie de la Tierra. Por consiguiente el agua se está moviendo constantemente entre la hidrosfera, la atmósfera, la tierra sólida y la biosfera y es lo que llamamos Ciclo Hidrológico (14).

El ciclo hidrológico comprende dos importantes procesos: la evaporación y la condensación del agua. La evaporación implica la adición de energía a las moléculas de un líquido, de manera que este se convierte en un gas en el cual las moléculas se encuentran más separadas. La condensación es el proceso contrario, en el cual las moléculas de un gas liberan

energía, se juntan y se convierten en líquido. La energía solar provoca que el agua salada se evapore de la superficie del océano, del suelo, de los cuerpos de agua dulce y de las superficies de las plantas. El agua que se evapora de las plantas proviene de dos fuentes diferentes; así, una parte procede del agua que ha caído sobre las plantas como lluvia, rocío o nieve; la otra del agua que las plantas absorben del suelo y transportan a las hojas, que la transpiran. Este proceso se denomina evapotranspiración. El vapor de agua en el aire se mueve por toda la superficie de la Tierra, así como al circular por la atmósfera. Así como el circular por la atmósfera. Al calentarse, el aire húmedo se enfría, se forman gotas de agua y caen a la tierra como lluvia. A pesar de ello, una parte de la lluvia puede simplemente permanecer sobre la superficie hasta evaporarse, la mayoría se infiltrará en el suelo o fluirá hacia abajo e ingresará a corrientes y ríos, los cuales eventualmente regresarán el agua al océano. El agua superficial que se mueve sobre la superficie de la Tierra e ingresa a las corrientes y ríos se denomina escurrimiento. Una parte entra al suelo pero no es absorbida por las raíces de las plantas, así que se mueve lentamente hacia abajo a través de los espacios en el suelo y el material de la superficie hasta que alcanza una capa de roca impenetrable. El agua que llena los espacios del sustrato se denomina agua freática, y puede estar almacenada durante largos períodos en estanques subterráneos. Esta capa porosa que se satura con agua se denomina acuífero (6).

los océanos, es cuando se aprecia el agua dulce que se encuentra en el subsuelo.

Agua dulce de la hidrosfera			
Partes de la hidrosfera	Volumen de agua dulce (Km³)	Porción de volumen total de agua dulce (%)	Tasa de intercambio del agua
Casquetes polares y glaciares	24.000.000	84,945	8.000 años
Aguas subterráneas	4.000.000	14,158	280 años
Lagos y embalses	155.000	0,549	7 años
Humedad del suelo	83.000	0,294	1 años
Vapor de agua en la atmósfera	14.000	0,049	9,9 días
Agua de los ríos	1.200	0,004	11,3 días
Total	28.253.200	100,00	-

Tabla 2.1.- Datos del agua dulce de la hidrosfera.

Fuente: U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, 1987.

Sí, se excluye el hielo y se considera sólo el agua líquida, más del 94% de toda el agua dulce es agua subterránea. No cabe duda que el agua subterránea representa el mayor depósito de agua dulce que result

fácilmente asequible a los seres humanos. Su valor en términos de economía y de bienestar humano es incalculable (5).

2.1.3 Factores que influyen en el almacenamiento y la circulación de las aguas subterráneas.

La naturaleza de los materiales subsuperficiales influye mucho en la velocidad del movimiento y en la cantidad de agua subterránea que puede almacenarse. Dos factores son especialmente importantes: la porosidad y la permeabilidad (5).

2.1.3.1 Porosidad.

La naturaleza del sustrato en el acuífero influye en la cantidad de agua que el acuífero puede mantener, así como la velocidad a la que el agua se moverá a través de éste. La porosidad es una medida del tamaño y número de espacios en el sustrato. Cuanto mayor sea la porosidad, mayor será la cantidad de agua que pueda contener. La velocidad a la cual el agua se mueve a través de un acuífero está determinada por el tamaño de los poros, el grado al cual están conectados, y por cualquier rompimiento o canales presentes en el sustrato; asimismo, establece la velocidad con que el agua se podrá bombear de un pozo por minuto (6).

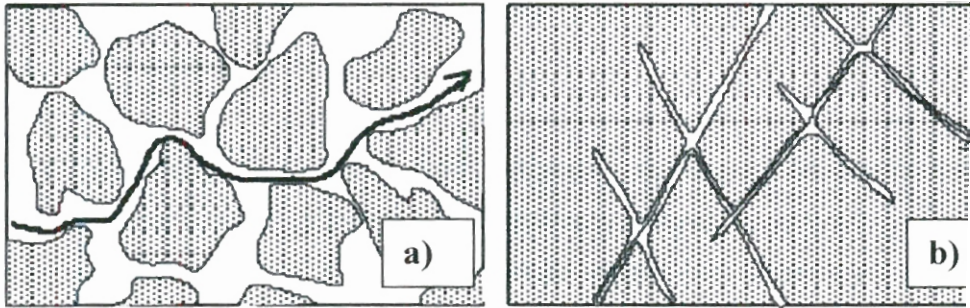


Fig. 2.2.- a) Porosidad intergranular. b) Porosidad por fracturación

Fuente: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/T075.pdf>

2.1.3.2 Permeabilidad y Transmisividad

El parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica será una combinación de permeabilidad y del espesor (Transmisividad = Permeabilidad x espesor). Como las unidades de la permeabilidad son L/t y las del espesor L , unidades de la Transmisividad serán L^2/t (7).

La porosidad es la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido, en este caso el agua.

La porosidad, por sí sola, no puede medir la capacidad de un material para suministrar agua subterránea. La roca o el sedimento pueden ser porosos, pero no permitir el movimiento del agua a través de ellos. Los poros deben estar conectados para permitir el flujo de agua, y deben ser bastante grandes para permitirlo. Por tanto, la permeabilidad de un material, su capacidad para transmitir un fluido, es también muy importante. El agua subterránea se mueve serpenteando y girando a través de pequeños

aperturas interconectadas. Cuanto menores sean los espacios porosos más lento será el movimiento de agua.

El agua subterránea se divide en dos categorías: (a) la porción que drenará bajo la influencia de la gravedad (denominada porosidad eficaz), y (b) la parte que es retenida a modo de película sobre las superficies de las partículas y las rocas y en diminutas aperturas (denominada retención específica). La porosidad eficaz indica cuanta agua es realmente asequible para su uso, mientras que la retención específica indica cuanta agua permanece unida al material. La capacidad de la arcilla para almacenar agua es grande debido a su gran porosidad, pero sus espacios porosos son tan pequeños que el agua es incapaz de moverse a través de ellos. Por tanto, la porosidad de la arcilla es grande, pero, debido a su baja permeabilidad, la arcilla tiene un rendimiento específico muy bajo.

Los estratos impermeables que obstaculizan o impiden el movimiento del agua se denominan acuicludos. La arcilla es un buen ejemplo. Por otro lado, las partículas más grandes, como la arena y la grava, tienen espacios porosos mayores. Por consiguiente, el agua se mueve con relativa facilidad. Los estratos de roca o sedimentos permeables que transmiten libremente del agua subterránea se denominan acuíferos. Las arenas y las gravas son ejemplos y comunes (5).

2.1.4 Tipos de acuíferos.

En la naturaleza se presentan diferentes tipos de acuíferos. Puede utilizarse distintos criterios de clasificación; no obstante, los más comúnmente empleados se establecen según sea la (8): Textura de los materiales que los constituyen, Grado de presión a que están sometidos los mantos o masas de

agua que se encuentran saturando los poros o fisuras, Situación geográfica.

Tipos de acuíferos	Según la textura de los materiales que los constituyen.	Porosos (P).	El agua circula a través de los poros o espacios existentes entre los granos del terreno.
		Figurados (F) ó Karstificado.	La circulación del agua se produce a través de fisuras, grietas y oquedades del terreno.
	Según el grado de presión a que están sometidos los mantos.	Libres (L)	Al perforarlos con un pozo o sondeo el nivel del agua queda a la misma altura a la que se corta.
		Confinados (C).	Cuando se hace un sondeo en los mismos, al cortar el agua el nivel sube.
	Según la ubicación geográfica.	Costeros (Co).	Están en contacto hidráulico con el mar y, por tanto, tiene una zona invadida por agua salada.
		Interiores (I) ó Continentales.	No tienen contacto alguno con el mar, pueden estar relacionados hidráulicamente o no, con ríos, lagos.

Tabla 2.2- Tipos de Acuíferos

Fuente y Elaboración: IGME.

2.1.4.1 Acuífero Poroso-Libre-Interior.

En este tipo de acuíferos el agua circula a través de poros o espacios existentes entre los granos del terreno. Al perforarlos con pozos o

sondeos, el nivel del agua queda a la misma altura a la que se cor
sondeo 3 (8).

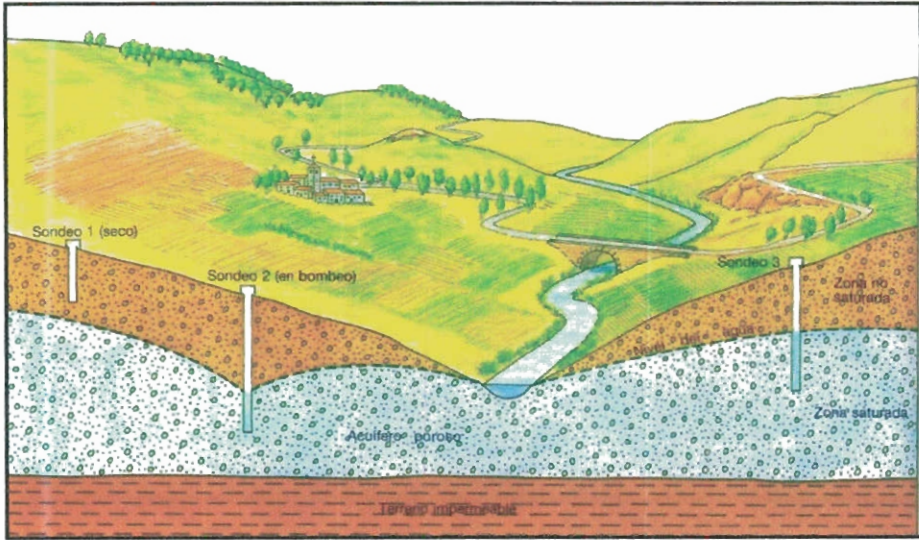


Fig. 2.3.- Acuífero Poroso-Libre-Interior
Fuente y Elaboración: IGME

2.1.4.2 Acuífero Fisurado-Libre-Interior.

En este tipo de acuífero la zona saturada queda restringida a las grietas, fisuras, oquedades y conductos de todas dimensiones existentes en el seno del macizo calcáreo. Por ello, es posible que un pozo no encuentre agua y resulte seco a muy escasa distancia de otro que haya intersectado alguna cavidad saturada y contenga agua circundante (8).

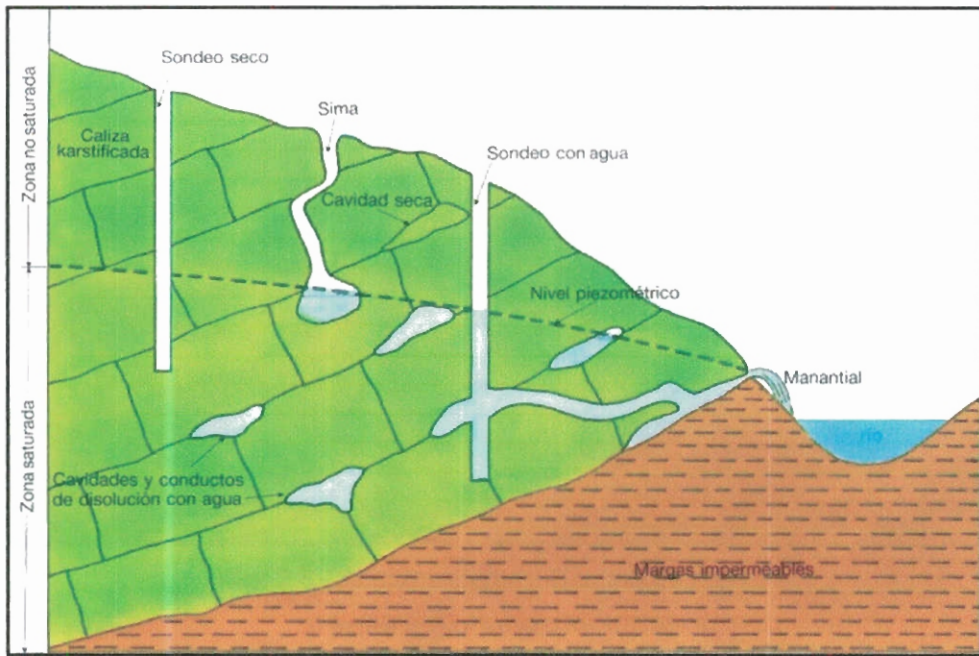


Fig. 2.4.- Acuífero Fisurado-Libre-Interior
Fuente y Elaboración: IGME.

2.1.4.3 Acuífero: Poroso-Confinado-Interior.

El agua se encuentra en este tipo de acuífero a mayor presión que la atmosférica; por ello, al efectuar una perforación en los mismos, el agua asciende hasta un nivel superior al del techo de acuífero (sondeo 1), pudiendo ocurrir que el pozo sea surgente si su emboquillado está por debajo del nivel piezométrico, sondeo 2 (8).

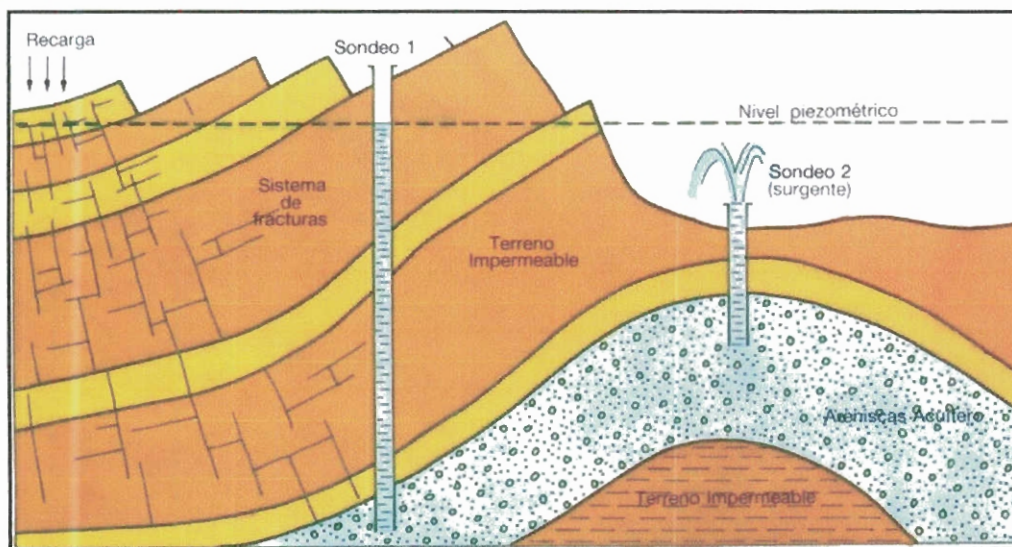


Fig. 2.5.- Acuífero Poroso-Confinado-Interior
Fuente y Elaboración: IGME.

2.1.4.4 Acuífero Poroso-Libre-Costero.

En este tipo de acuífero se denomina cuña de agua salada a una masa de agua salada de gran longitud en forma de cuña, apoyada en la base del acuífero y con el vértice hacia tierra adentro. Se llama cono de agua salada o domo de agua salada a una protuberancia vertical de la masa de agua salada, que se produce como consecuencia de bombeos intensivos en una zona en la que hay agua dulce sobre la salada. El agua dulce y el agua salada confluyen miscibles, por lo que no existe un contacto brusco entre ellos, sino que pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla llamada Transición o interfase. En dicha figura se representan tres sondeos, el número 1 no se contamina, el número 2 sí, debido a la formación de un cono de agua salada debajo de la captación, el número 3 se encuentra contaminado por haber penetrado en la zona de agua salada (8).

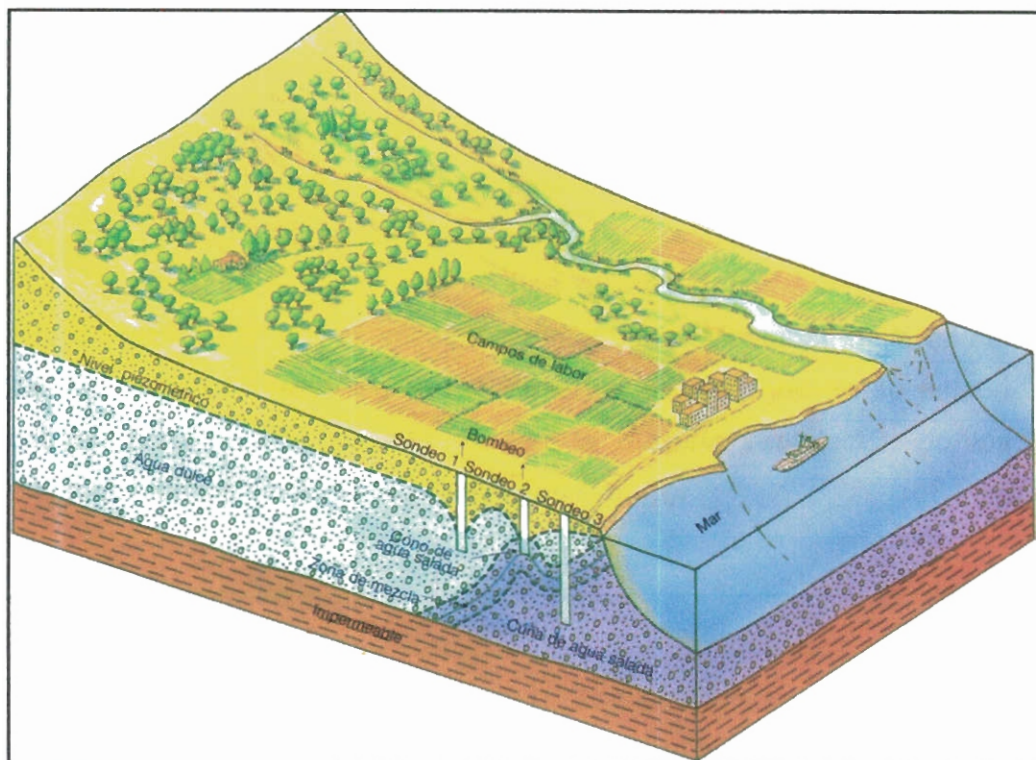


Fig. 2.6.- Acuífero Poroso-Libre-Costero
Fuente y Elaboración: IGME.

2.1.5 Balance hídrico de un acuífero.

Se establece balance hídrico de un acuífero o de un "sistema acuífero" (conjunto de acuíferos que se consideran conjuntamente). La ecuación general (Entradas = Salidas \pm Δ almacenamiento) es la misma que para la cuenca como unidad, pero en un acuífero hay que considerar entradas y salidas desde y hacia otros acuíferos, infiltración o recarga artificial, bombeo, salida hacia los cauces o el mar (9).

2.1.6 Recursos, reservas y sobreexplotación.

Si explotamos el agua que se puede renovar (considerando el período de unos años) se dice que explotamos los recursos. Si utilizamos más agua de la que puede renovarse, se dice que estamos explotando las reservas, y estamos produciendo sobreexplotación. Los niveles de agua en los pozos cada año se encuentran más bajos. Mantener inalterado el balance hídrico de una región mantiene los ecosistemas en su estado natural, pero no nos permite evaluar la máxima explotación de los recursos hídricos sin llegar a sobreexplotación (9).

2.1.7 Coeficiente de almacenamiento

El volumen del agua que proporciona un acuífero libre se puede calcular mediante la porosidad eficaz. Pero este parámetro no nos sirve en el caso de los acuíferos confinados: cuando proporcionan agua, todos sus poros continúan saturados, sólo disminuye la presión, de modo que el dato de la porosidad eficaz no indica nada. Necesitamos un parámetro que indique el agua liberada al disminuir la presión del acuífero. El coeficiente de almacenamiento (S), es el volumen de agua liberado por una columna de base unidad y de altura todo el espesor del acuífero cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.

El coeficiente de almacenamiento es, como la porosidad eficaz, adimensional (volumen / volumen), y los valores que presenta son mucho más bajos en los confinados perfectos que en los semiconfinados. Los valores típicos serían éstos (7):

Acuíferos libres	3×10^{-1} a 10^{-2}
Acuíferos semiconfinados	10^{-3} a 10^{-4}
Acuíferos confinados	10^{-4} a 10^{-5}

Tabla 2.3- Valores de coeficientes de almacenamiento.

Fuente y Elaboración: Sánchez J.

2.1.8 Intrusión Marina.

Una gran parte de los problemas relacionados con los abastecimientos de agua en las regiones costeras, están originados por la intrusión salina que es la presencia del agua de mar tierra adentro, provocado por la explotación del acuífero mediante pozos. Los acuíferos costeros son vulnerables a la contaminación por intrusión marina (17) Este proceso es la mezcla del agua dulce subterránea del acuífero con el agua de mar tanto en el subsuelo como en las capas superficiales del terreno (10).

Una excesiva e incontrolada explotación de estas reservas de agua recargadas naturalmente por el agua de lluvia infiltrada en el terreno puede provocar una inesperada y perjudicial intrusión salina que puede llegar a inutilizar totalmente el acuífero (10).

La recarga artificial es la intrusión (no natural) de agua en un acuífero para aumentar la disponibilidad y/o mejorar la calidad del agua subterránea (8).

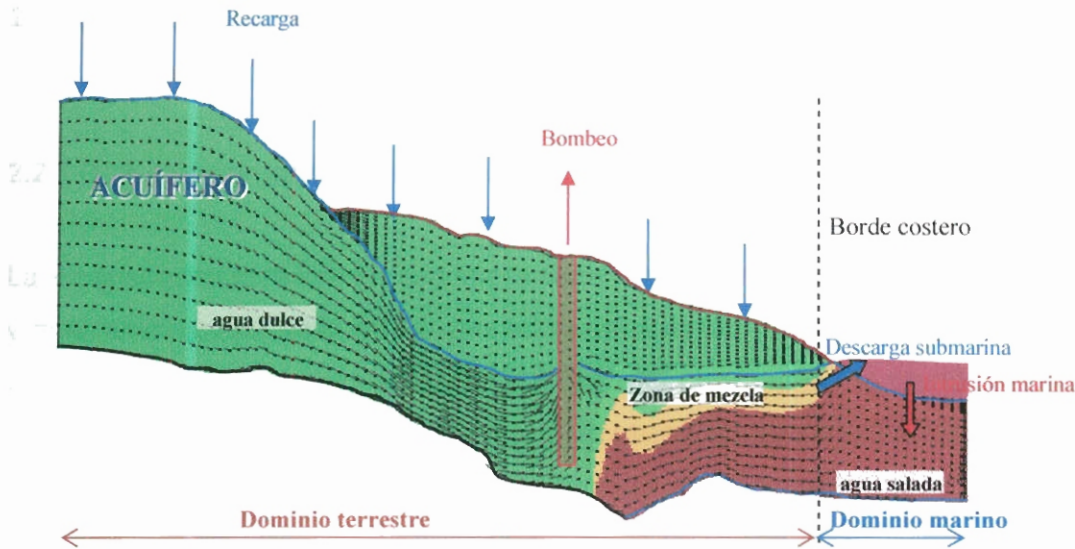


Fig. 2.7 Esquema de Intrusión Marina en un Acuífero Costero

Fuente: Romero et al., 2008

2.1.9 Tipos de acuíferos donde es posible realizar recarga artificial.

La recarga artificial se puede practicar, en principio, en cualquier tipo de formación permeable que tenga condiciones para almacenar y transmitir agua. Normalmente se realiza en acuíferos libres con el nivel freático a profundidad variable (desde muy próximo a la superficie hasta un centenar o más metros de profundidad) (8).

Formaciones de materiales granulares	Formaciones de materiales consolidados
<ul style="list-style-type: none"> - Depósitos aluviales - Dunas - Areniscas 	<ul style="list-style-type: none"> - Calizas y dolomías - Calcarenitas - Materiales volcánicos (basaltos jóvenes)

Tabla 2.4- Formaciones frecuentes de recarga artificial.

Fuente y Elaboración: IGME

2.2 Prospección Geofísica.

2.2.1 Definición y generalidades ¹¹.

La Prospección Geofísica es, a primera vista, un conjunto de técnicas físicas y matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, entre otras), por medio de observaciones efectuadas en la superficie de la Tierra.

Estos métodos se utilizan asimismo en el estudio de cuestiones referentes a zonas profundas de la Tierra sólida, planteadas por la geofísica pura; también se realizan, prospecciones para ayuda de la Ingeniería civil, como el estudio de las condiciones de la cimentación de presas o edificios o de los materiales que habrán de extraerse para la construcción de una nueva carretera.

Los cuerpos o estructuras buscadas pueden detectarse si discrepan de los que los rodean en alguna propiedad física; por lo que como resumen podríamos decir, con carácter tentativo, la siguiente definición: La Prospección Geofísica es una rama de la Física Aplicada que se ocupa del estudio de las estructuras ocultas del interior de la Tierra y de la localización en este de cuerpos delimitados por el contraste de alguna de sus propiedades físicas con las del medio circundante, por medio de observaciones realizadas en la superficie de la Tierra. Se ha de hacer notar, no obstante, que a veces se realizan observaciones en el interior de minas, y que una rama lateral de la Prospección Geofísica se ocupa de efectuar mediciones en el interior de sondeos mecánicos.

2.2.2 Métodos mayores de la Prospección Geofísica.

Dentro de la diversidad de técnicas prospectivas destacan cuatro grupos principales, que suelen denominarse “métodos mayores” y son el gravimétrico, el magnético, el eléctrico y el sísmico. Los dos primeros son métodos de campo natural, y los dos restantes de campo artificial. Es decir, que en los métodos gravimétrico y magnético, se estudian las perturbaciones que determinadas estructuras o cuerpos producen sobre campos preexistentes, que son el de la gravedad terrestre y el geomagnético, mientras que en el eléctrico y en el sísmico es el propio prospector el que crea el campo físico que va a estudiar, lo que presenta la gran ventaja de que puede darle las características más adecuadas para el fin propuesto. Esto no quiere decir que no puedan establecerse relaciones de superioridad entre unos y otros métodos de prospección, pues la eficacia de éstos depende de cuál sea el problema propuesto (11).

2.2.3 Métodos Geoeléctricos.

Los métodos eléctricos de prospección, también denominados geoeléctricos estudian, por medio de mediciones efectuadas en la superficie, la distribución en profundidad de alguna magnitud electromagnética. Existen tres magnitudes electromagnéticas principales o constantes materiales que en principio podrían utilizarse para identificar los cuerpos situados en el subsuelo. Estas magnitudes son la permeabilidad magnética, la constante dieléctrica o permitividad y la resistividad. Entre ellas, y hasta ahora, es casi exclusivamente la resistividad la magnitud cuya distribución en el subsuelo se estudia (11).

2.2.4 Clasificación de los Métodos Geoeléctricos ¹¹.

Existen algunas modalidades de los métodos de exploración eléctrica del subsuelo, cada una de ellas con su propio campo de aplicación, sus ventajas y sus defectos.

Uno de los criterios más importantes para clasificar los métodos es el que clasifica los métodos según que el campo electromagnético que en ellos se estudia sea de origen natural, o se cree artificialmente para la prospección.

Otro criterio es el que considera si la información recogida se refiere a la vertical de un punto o se distribuye a lo largo de un perfil, dentro de un margen de profundidades aproximadamente constante. Por analogía con las labores mecánicas mineras los métodos se llaman de sondeo en el primer caso y de calicata en el segundo.

En la mayoría de los casos lo que se obtiene es la distribución de las resistividades en el subsuelo. Cuando tal distribución se representa gráficamente en forma de corte vertical, esta representación se denomina corte geoeléctrico.

También es interesante conocer si un método es constante (corriente continua) o varía en el transcurso del tiempo (método de campo variable).

Teniendo en cuenta lo anterior a continuación se indica una clasificación de los métodos geoeléctricos, que si bien no es completo, contiene los más importantes, y sobretodo recoge el avance desde los años más clásicos de la geofísica con los actuales.

Métodos de Campo Natural.		Potencial Espontáneo.
		Corrientes Telúricas.
		Magneto-Telúrico (sondeos y calicatas).
		AFMAG.
Método de Polarización Inducida.		
Métodos de Campo Artificial.	<i>Campo constante.</i>	Líneas Equipotenciales y del cuerpo cargado.
		Sondeos Eléctricos.
		Calicatas Eléctricas.
		Medición Magnética de resistividades.
	<i>Campo Variable.</i>	Sondeos de Frecuencia.
		Sondeos Transitorios.
		Calicatas Electromagnéticas.
		Radio-Kip.
		Radiografía hertziana.

Tabla 2.5.- Clasificación de los Métodos Geoeléctricos

Fuente: Romero P., 2002.

2.2.5 Aplicaciones de los métodos Geoeléctricos de Prospección.

La información que los métodos geoeléctricos nos dan sobre el subsuelo puede utilizarse con fines muy variados. Las más importantes y difundidas son las siguientes (11):

- Investigaciones tectónicas para la búsqueda de petróleo.
- Estudios para la localización de aguas subterráneas.
- Estudios complementarios para cartografía geológica bajo recubrimiento.
- Estudios de cuencas carboníferas.

- Localización de yacimientos de otros minerales útiles, especialmente menas metálicas.
- Investigaciones de firmes, cimentaciones y desprendimientos de tierras para Ingeniería civil.
- Localización y cubicación aproximada de materiales de construcción.
- Investigaciones a profundidad muy reducida para la localización de objetos y edificaciones enterradas, como guía y ayuda para las investigaciones arqueológicas.
- Estudios de zonas muy profundas de la corteza terrestre.
- Estudios geotérmicos.

2.2.6 Resistividad eléctrica de suelos

Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada (12).

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l} \quad \{\text{Ec 2.1}\}$$

La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro ($\Omega \cdot \text{m}$).

Son pocos y muy escasos los componentes de la corteza terrestre que posean conductividad metálica. Entre ellos se cuentan los metales nativos (oro, plata, cobre, estaño) y quizá algún mineral poco abundante como la ullmanita (NiSbS) (11).

Los minerales semiconductores son muchos y de gran importancia práctica. Su resistividad depende de su contenido en impurezas, a veces en grado extremo. Además su conductividad aumenta con la temperatura. Por ello, no cabe esperar que la resistividad de una especie mineralógica determinada pueda representarse por un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios. En general los telurios y los arseniuros son conductores muy buenos. Los sulfuros suelen entrar también entre los conductores buenos, con excepciones como la blenda y el cinabrio. Los óxidos, y los compuestos de antimonio suelen ser malos conductores, con la excepción de la magnetita. Ahora bien, estos minerales no suelen aparecer en la naturaleza de forma individual, sino en asociaciones, y junto con una ganga frecuentemente aislante (cuarzo, calcita, etc.), por lo que la resistividad conjunta del filón puede variar mucho de unos casos a otros (11).

En los cuerpos dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados a los átomos. Esto puede deberse a que existan enlaces covalentes o iónicos. En este último caso la red cristalina forma un electrolito sólido. La mayoría de los minerales pertenecen a este grupo. A temperaturas normales las resistividades son muy altas, generalmente superiores a $10^7 \Omega \cdot \text{m}$. Son minerales dieléctricos el azufre, la blenda, la calcita, el cinabrio, el cuarzo, las micas y el petróleo entre otros. Entre estos minerales, además, figuran los más importantes constituyentes de las rocas, las cuales se comportarían como aisladoras si no fuera por la presencia de electrolitos (11).

El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos $10^5 \Omega \cdot m$ por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, sin embargo, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. Así las aguas de lagos y arroyos de alta montaña varían entre $10^3 \Omega \cdot m$ y $3 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$, las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a $20 \Omega \cdot m$, y las aguas marinas tienen una resistividad de unos $0,2 \Omega \cdot m$ (11).

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas.(11)

Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar en margen amplísimo en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros (11).

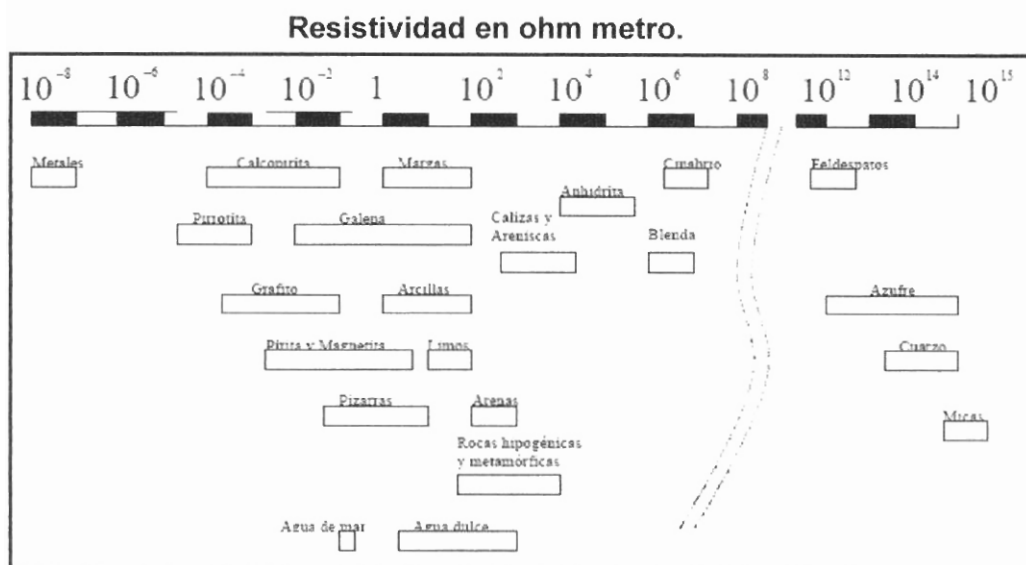


Fig. 2.8.- Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales

Fuente: Orellana E., 1982

2.2.7 Método de las resistividades.

El método de las resistividades permite el estudio no solo de formaciones subhorizontales sino también la determinación de formaciones subverticales (fallas, filones) a una profundidad mayor que el método de líneas equipotenciales, es por ello él más importante.

Todas las técnicas de resistividad eléctrica (sondeo eléctrico vertical, calicata eléctrica, método de bloques) se basan en que la distribución del potencial eléctrico alrededor de un electrodo de corriente hincado en el suelo depende de la resistividad eléctrica del terreno que se encuentre a su alrededor. Dicha propiedad, representada por el símbolo " ρ " y expresada en ohmios-metro, es una característica intrínseca al medio en que se determina, de la misma manera que lo es su densidad o permeabilidad al agua.

Cuando en un terreno homogéneo se envía corriente continua de intensidad (I) al terreno mediante los electrodos A y B que se clavan en el suelo y una vez establecido así un campo eléctrico artificial, se investigan sus condiciones con los otros dos electrodos M y N adicionales también clavados en el terreno, midiendo la diferencia de potencial (ΔV) entre estos y determinar así la resistividad del terreno.

Se puede determinar la resistividad aparente del terreno, que es función del cociente entre la diferencia de potencial medida entre los electrodos de investigación y la intensidad de corriente con que se alimenta el terreno.

De esta forma se crea una diferencia de potencial entre los puntos M y N por lo que su resistividad será (1):

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad \{\text{Ec 2.2}\}$$

Donde la constante k es:

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \quad \{\text{Ec 2.3}\}$$

Donde K es un factor geométrico que depende de la manera en la que se dispongan los electrodos.

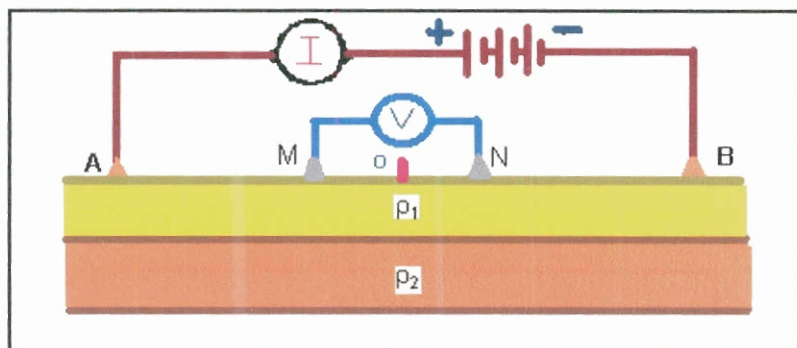


Fig. 2.9.- Método de Resistividades.

Fuente y Elaboración: Romero P., 2002

En la práctica, las medidas se realizan siempre en materiales heterogéneos, por lo que al emplear la fórmula antes descrita se calcula una "resistividad aparente", ρ_a , cuyas variaciones obtenidas a lo largo de un perfil determinado (modificando o manteniendo el valor de K) pueden utilizarse cualitativamente, como indicadores de variaciones existentes en la composición del terreno, o cuantitativamente una vez procesados e invertidos los datos obtenidos *in situ*, para obtener la resistividad real y el espesor de las distintas capas. Las diferencias entre los distintos métodos de resistividad vienen dadas por la distinta disposición geométrica, entre un método y otro, de los electrodos (1).

2.2.8 Sondeo eléctrico vertical (SEV)

2.2.8.1 Definición y generalidades.

Se llama sondeo eléctrico a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción. Cuando el dispositivo empleado es simétrico o asimétrico con un electrodo en el

“infinito” y durante la medición permanecen fijos el azimut del dispositivo y el centro del segmento MN, suele denominarse Sondeo Eléctrico Vertical. Dicho nombre será representado en este trabajo por la sigla SEV (11).

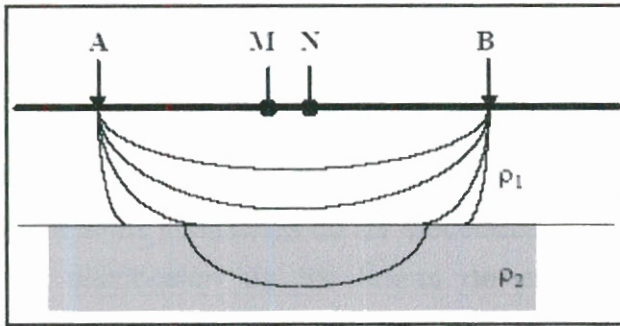


Fig. 2.10.- Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas.

Fuente y Elaboración: Gasulla M., 1999.

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectoros AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye. Para un medio isótropo y homogéneo, el 50% de la corriente circula por encima de la profundidad $AB/2$ y el 70.6% por encima de una profundidad AB (11). Sin embargo, no es posible fijar una profundidad límite por debajo de la cual el subsuelo no influye en el SEV, ya que la densidad de corriente disminuye de modo suave y gradual, sin anularse nunca. Podría pensarse que la penetración es proporcional a AB. Sin embargo esto no es cierto en general puesto que lo dicho sólo es válido para un subsuelo homogéneo (12).

Durante mucho tiempo, en prospección geoelectrica en corriente continua, la profundidad de investigación ha sido considerada sinónimo

de la profundidad de penetración de la corriente. Sin embargo, el efecto de una capa en los potenciales o campos observados en superficie no depende únicamente de la densidad de corriente que la atraviesa. La profundidad de investigación característica como la profundidad a la que una capa delgada de terreno (paralela a la superficie) contribuye con participación máxima a la señal total medida en la superficie del terreno además la profundidad de investigación viene determinada por la posición de los electrodos inyectoros y detectores, y no sólo por la penetración o distribución de la corriente (13). Esto queda claro con un ejemplo: si se intercambian entre sí las posiciones de los electrodos de potencial con los de corriente, la distribución de las líneas de corriente cambia. La resistividad aparente y por tanto la profundidad de investigación no cambia. Definiendo L como la distancia entre los dos electrodos extremos (sin considerar los situados en el infinito), la profundidad de investigación de diversos dispositivos electródicos en un suelo homogéneo, siendo para el dispositivo polo-polo de $0,35L$, para Schlumberger de $0,125L$ y para Wenner de $0,11L$. Un valor más útil puede ser la profundidad a la cual la mitad de la señal medida en la superficie es debida a la porción de suelo superior a esa profundidad y la otra mitad de la señal a la porción de suelo inferior (14). También se define como la profundidad de investigación efectiva, y muestra con ejemplos la mayor utilidad de ésta (15). Las profundidades de investigación efectiva para los dispositivos Wenner, Schlumberger y doble dipolo son respectivamente de $0,17L$, $0,19L$ y $0,25L$ (para este último la profundidad de investigación característica es de $0,195L$), es decir ligeramente mayores que utilizando la definición de profundidad de investigación característica (12).

2.2.8.2 Método Schlumberger.

Dado el dispositivo Schlumberger AMNB con $AB \gg MN$, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectoros A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P. La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρ_a ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectoros A y B.

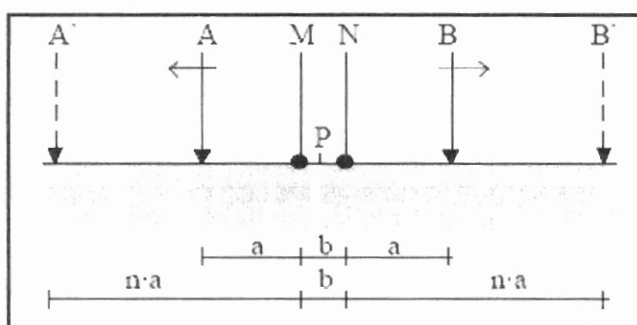


Fig. 2.11.- Método Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos

Fuente y Elaboración: Gasulla M., 1999

2.2.8.3 Método Wenner.

Dado el dispositivo Wenner AMNB con separación interelectródica a , el sondeo consiste en el aumento progresivo del valor de a manteniendo un punto central fijo P. Para la representación de los datos se muestra en

ordenadas el valor de la resistividad aparente medida, ρ_a , en ohms·m, y en abscisas el valor de a en metros para cada paso.

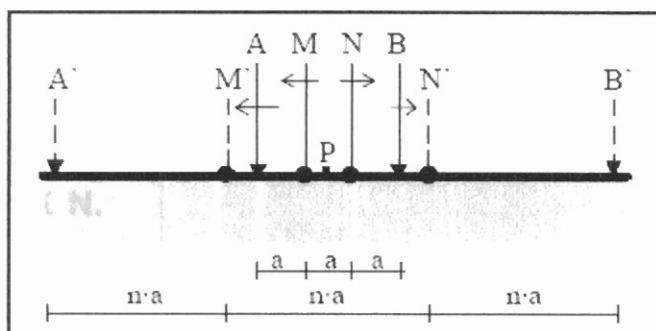


Fig. 2.12.- Método Wenner. La distancia interelectródica pasa de a (AMNB) a $n \cdot a$ (A'M'N'B')

Fuente y Elaboración: Gasulla M., 1999.

CAPÍTULO III

III. INFORMACIÓN.

3.1 Geomorfología.

Morfológicamente la zona de estudio corresponde a la cuenca Chongón-Colonche con dirección noroeste-sureste básicamente constituidas por rocas que varían desde el Jurásico hasta el reciente y conforman una potente serie de rocas sedimentarias y volcánicas. En la cuenca se encuentran importantes fallas que se orientan NW-SE o NNW-SSE en la que predomina el movimiento vertical y existen efectos de desplazamiento horizontal, posiblemente están relacionados con la segunda fase de la orogénesis Andina, cabe mencionar que en el Valle de Olón éstas no tienen influencia alguna sobre los estratos (2).

3.2 Estratigrafía.

3.2.1 Grupo Ancón (Eoceno-Superior).

El Grupo Ancón comprende rocas silicoclásticas de edad Eoceno que toman su nombre del campo petrolero de Ancón; comprende las formaciones

Socorro y Seca. Otras rocas correlacionables con el Grupo Ancón afloran más hacia el Norte desde Ballenita hasta el campo Pacoa y subafloran ampliamente en el área de la plataforma continental adyacente. El Grupo Ancón también ha sido identificado en la Cuenca Progreso donde aflora en el borde Oeste en el límite con el Alto Santa Elena y ha sido alcanzado en numerosas perforaciones exploratorias (16).

3.2.2 Formación Socorro (Eoceno Medio).

La formación Socorro consiste de dos miembros:

Miembro Caliza Javita: En el borde suroccidental de la cordillera Chongón-Colonche afloran calizas-arrecifales que cambian lateral y verticalmente en areniscas fosilíferas de grano medio a grueso, carbonatadas. Las calizas se presentan a veces con abundantes foraminíferos, yace sobre la Cayo con un conglomerado basal, su potencia varía entre 0-90 m (2).

Miembro Arenisca Dos Mangas: Yace con un conglomerado de base sobre la Caliza Javita y está cubierta en discordancia por la formación Zapotal, litológicamente se presenta como limolitas y lutitas, con intercalaciones y arcillas (2).

3.2.3 Formación Zapotal (Eoceno Superior-Oligoceno Inferior).

Yace discordante sobre las formaciones antiguas, se compone esencialmente de areniscas gruesas masivas y bancos de conglomerados de tipo turbídico y lutitas intercaladas con moluscos, su potencia se estima en la zona en 300 m (2).

3.2.4 Depósitos Aluviales

Se encuentran relleno los valles formados por los ríos que determinan el sistema hidrográfico actual, su composición varía de acuerdo a los sitios de aporte, se presenta como gravas y conglomerados algo brechosos, encerrados en una matriz limo-arenosa, se desarrolla especialmente en los ríos, Ayampe, Olón, Manglaralto y Valdivia donde su potencia es variable de 5 a 30 m. Desde el punto de vista hidrogeológico, estos depósitos son los únicos sedimentos del área que presentan interés para la búsqueda de aguas subterráneas (2).

3.3 Investigación Climatológica.

3.3.1 Precipitaciones.

Las precipitaciones anuales en el área de estudio se encuentran aproximadamente en 154 mm. Durante el último Niño, las precipitaciones alcanzaron los 2500 mm. En los últimos cuatro años la PSE se encuentra afectada por una sequía en la que las precipitaciones cada vez son inferiores como se puede apreciar en la figura 3.1. Actualmente, el litoral ecuatoriano está atravesando un invierno con precipitaciones que van desde 11.7 a 13.7 mm/día según el INAMHI.

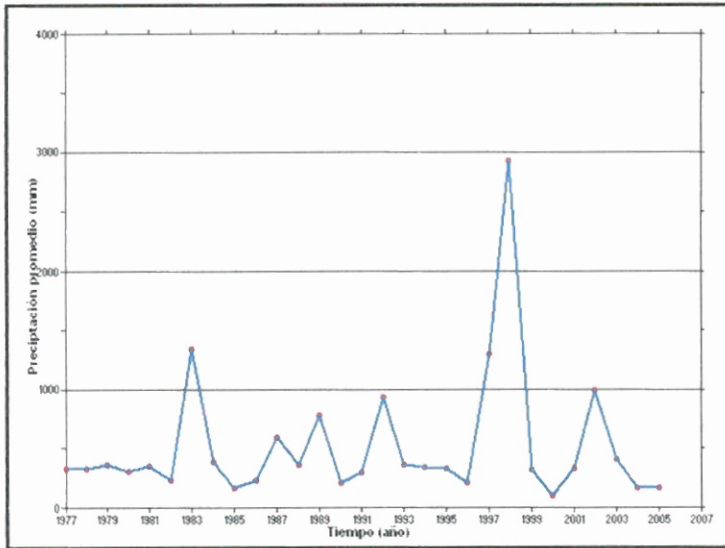


Fig. 3.1.- Precipitaciones Manglaralto

Fuente: CEDEGE

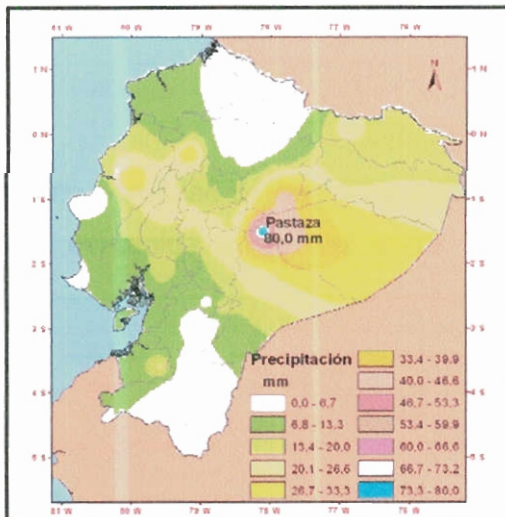


Fig. 3.2.- Mapa de precipitaciones

Fuente y Elaboración: INAMHI.

3.2 Temperatura

La temperatura máxima promedio anual es de 37.5°C y la mínima es de 18°C .

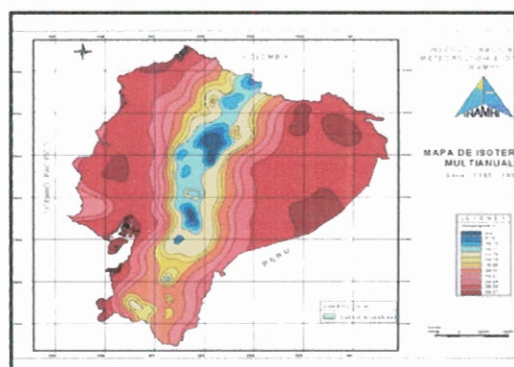


Fig. 3.3.- Mapa de isotermas
Fuente y Elaboración: INAMHI.

3.3 Humedad

En meteorología el término humedad corresponde a la cantidad de vapor de agua que se encuentra contenida en la atmósfera. La humedad relativa promedio es de 81%.

3.4 Red Hidrográfica

La zona de estudio se encuentra en la subcuenca del río Olón la misma que se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica Manglaralto. El río Olón es intermitente, es decir depende las épocas de lluvias y estiaje por lo que es clasificado en el orden 3 en la escala de Strahler. Este río nace en la parte alta de la cordillera Chongón-Colonche, donde las precipitaciones anuales están

por encima de la media de las estaciones meteorológicas del sector. El río atraviesa el aluvial que es la roca almacén en el cual se encuentra el recurso.

3.5. Investigación Hidrogeológica.

3.5.1. Transmisividad.

Para calcular este parámetro hidrogeológico, utilizaremos la permeabilidad de 1.6 m/día y un espesor de la capa saturada de 10 m, entonces:

$$\text{Transmisividad} = \text{Permeabilidad} \times \text{Espesor} \quad \{\text{Ec 3.1}\}$$

La transmisividad será de 17 m²/día, y por tanto es BAJA según Villanueva.

T (m ² /día).	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja.	Pozos de menos de 1l/s.
10<T<100	Baja.	Pozos entre 1 y 10 l/s.
100<T<500	Media a alta.	Pozos entre 10 y 50 l/s.
500<T<1000	Alta.	Pozos entre 50 y 100 l/s.
T>1000	Muy alta.	Pozos superiores a 100 l/s.

Tabla. 3.1.- Calificación estimativa para diferentes valores de Transmisividad.

Fuente y Elaboración: Villanueva, Iglesias, IGME.

Permeabilidad

Para calcular la permeabilidad o gradiente hidráulico, se utilizó el caudal de los pozos que están en uso (Pozos # 2, 3 y 7) y la sección existente entre ellos.

$$K = \frac{\text{Caudal} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)}{\text{Sección} \left(m^2 \right)} \quad \{\text{Ec 3.2}\}$$

La permeabilidad es de 1.6 m/día, y por tanto es MEDIA según Villanueva..

K (m/día)	Calificación estimativa
$K < 10^{-2}$	Muy baja
$10^{-2} < K < 1$	Baja
$1 < K < 10$	Media
$10 < K < 100$	Alta
$K > 100$	Muy alta

Tabla. 3.2.- Calificación estimativa para diferentes valores de permeabilidad

Fuente y Elaboración: Villanueva, Iglesias, IGME

Porosidad

La porosidad (P) estimada de los aluviales que se encuentran en el río Olón es del 20%.

Material	Porosidad (%)
Arcillas	20 – 50
Arenas gruesas	25 – 60
Arenas finas	30 – 60
Arenas de playa	80 – 85
Arenisca	20 – 35
Caliza	1.5 – 20
Grava	20 – 40
Rocas ígneas	0.3 – 5

Tabla. 3.3.- Porosidad de diversas rocas

Fuente y Elaboración: Orellana, 1982.

Coefficiente de almacenamiento

En los pozos que posee la JRAO, no existen piezómetros, los cuales deben estar ubicados al lado de los pozos de explotación, lo cual es importante para monitorear el comportamiento del acuífero, motivo por el cual no se calculó el coeficiente de almacenamiento.

Los valores de coeficientes de almacenamiento para acuíferos libres, confinados y semiconfinados se pueden observar en la tabla 2.3.

Caudal de explotación

El caudal de los pozos #2 y #3 es de 5 l/s y de 12 l/s el pozo #7. El requerimiento del recurso es de 750 m³/día, por lo que se necesitan jornadas de bombeo de 12 a 15 horas para poder cumplir con las demandas de la población. Debido a estos periodos prolongados de explotación y a la sequía que pasó la PSE el pozo # 2 en el último trimestre del año 2007, disminuyó su caudal de 5 a 2 l/s.

CAPÍTULO IV

IV. TRABAJO DE CAMPO.

4.1 Geología de campo.

El trabajo de campo consistió en recorrer el cauce del río Olón para poder levantar una columna estratigráfica (Fig. 4.1) con el fin de poder correlacionar los valores de resistividades obtenidos en la campaña de SEV.

Durante el levantamiento se observó afloramientos de *arcillas*, *limos*, *arenas* y *gravas* que pertenecerían al aluvial que es el material de interés donde se almacena el recurso agua, el mismo que se estima posee una potencia aproximada de 10 a 25 m. Un sondeo realizado en el sector de la columna estratigráfica realizada muestra valores de interés acuífero de hasta aproximadamente 50 m de profundidad.

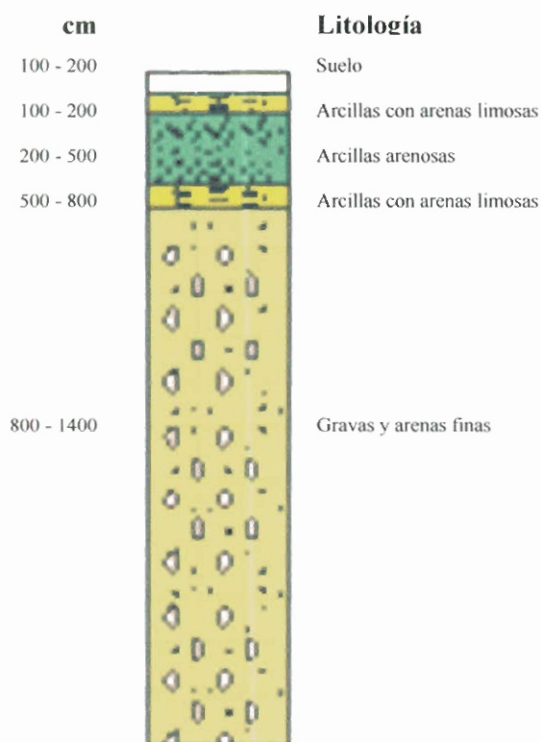


Fig. 4.1.- Columna Estratigráfica realizada en el río Olón (campo de pozos)

Fuente y Elaboración: Montalvan F., 2008.

4.2 Inventario de pozos.

La JRAO posee 7 pozos los cuales fueron inventariados tomando en cuenta las características que se detallan en la tabla 4.1. Además de los pozos pertenecientes a la JRAO existen otros en propiedades privadas a los que no pudimos tener acceso.

Es importante conocer las características de estos pozos, para el plan de explotación que se explicará más adelante.

Pozo	X	Y	Año de fabricación	Caudal (L/s)	Profundidad (m)	Diámetro (")	Potencia de bomba (HP)
1*	528088	9802470	-	-	-	8	-
2	528079	9802274	1989	5	23	8	5
3	528088	9802470	1991	5	23	8	5
4*	528215	9802242	1997	-	-	8	-
5*	528132	9802356	1996	-	-	8	-
6*	528079	9802274	2006	-	24	10	-
7	527608	9802324	2006	12	27	8	15
8	527985	9802296	1994	6	19	6	-

* Pozo fuera de uso

Tabla 4.1. Características de pozos de extracción de aguas subterráneas en Olón.

Fuente: Montalván F., 2008



Fig. 4.2.- Pozo operativo de extracción de agua subterránea de la JRAO.

Fuente: Montalván F., 2008.



Fig. 4.3.- Pozo fuera de uso de la JRAO.

Fuente: Montalván F., 2008

ubicación de los pozos se detalla en la figura 4.4.

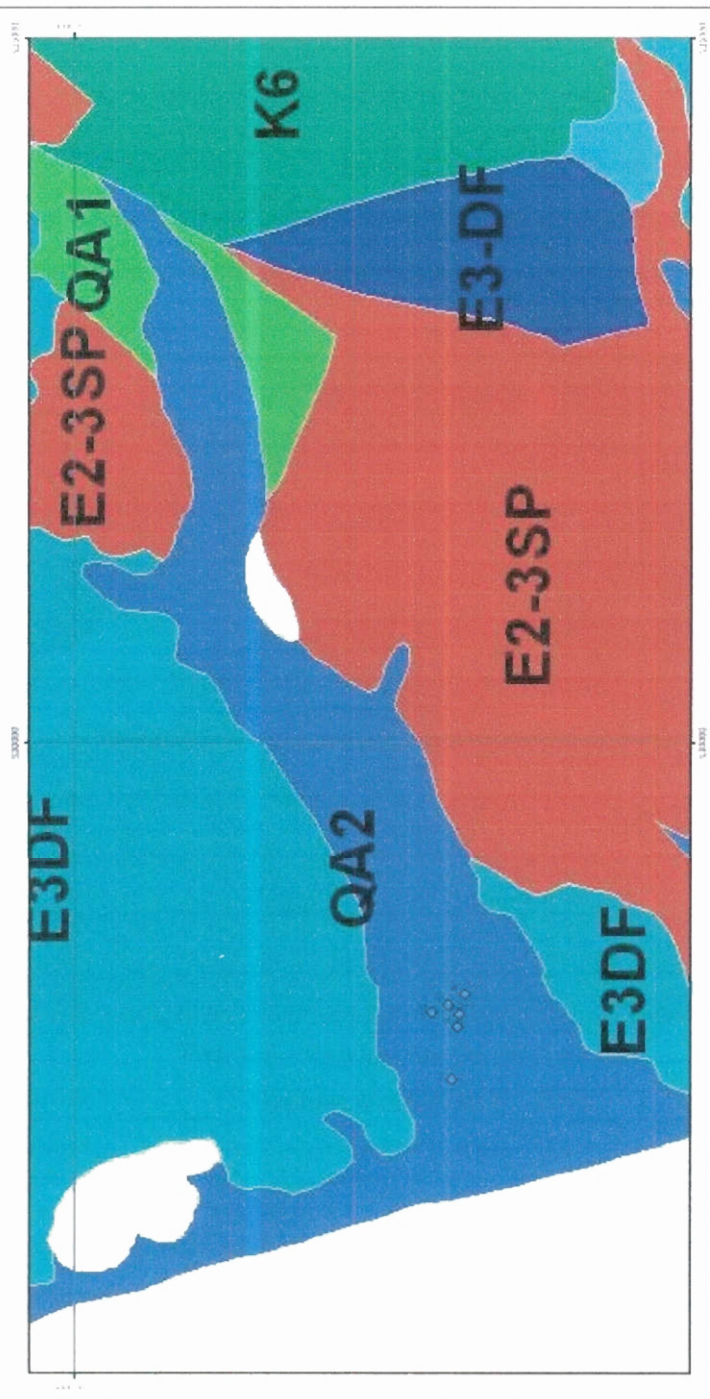


Fig. 4.4.- Ubicación de pozos.

Fuente: Proyecto VLIR-ESPOL 2007.

3.3 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).

Se realizaron 39 SEV con AB/2 de entre 147 y 215 m dependiendo de la topografía del sector, 30 de los cuales en época de invierno y los 9 restantes en época de estiaje. Los sondeos se realizaron con el método Schlumberger.



Fig. 4.5.- Realización de SEV en Olón.

Fuente: Montalván F., 2008

Esta campaña se realizó con el Resistivímetro ABEM Terrameter SAS-300B, el cual es utilizado para la prospección de aguas subterráneas y prospección mineral.

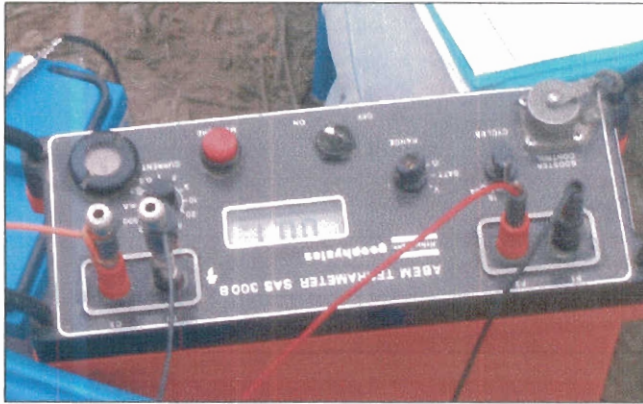


Fig. 4.6.- Resistivímetro Terrameter SAS-300B

Fuente: Montalván F., 2008

La interpretación de los SEV se realizó con el software WINSEV 6.1.

La ubicación de los SEV se detallan en la tabla 4.2.

SEV	Coordenadas		Altura m
	x	y	
OL-01	527701	9801948	14.7
OL-02	527892	9801846	11.1
OL-03	528012	9802014	16.9
OL-04	528860	9802442	21.1
OL-05	529630	9802490	10.5
OL-06	530354	9803104	37.1
OL-07	530956	9803650	48.3
OL-08	531757	9803838	33.8
OL-09	532518	9803964	45.8
OL-10	533025	9804070	74
OL-11	532693	9804152	58.1
OL-12	532648	9804110	55.9
OL-13	532875	9804248	55.3
OL-14	532766	9803886	56.8
OL-15	527800	9802322	34.8
OL-16	527421	9802300	11.3
OL-17	527426	9802350	10.2
OL-18	527588	9802512	23
OL-19	527761	9802678	28
OL-20	527796	9803000	22.8

OL-21	527895	9803310	31.1
OL-22	527475	9802796	30
OL-23	527109	9802592	6.9
OL-24	527052	9802720	10.2
OL-25	527002	9802789	16.1
OL-26	526973	9802936	18.7
OL-27	527085	9802234	14.8
OL-28	526705	9803656	4.2
OL-29	526816	9803322	8.7
OL-30	527260	9801858	10.2
OL-31	528075	9802328	17
OL-32	528104	9802294	17
OL-33	527619	9802312	17
OL-34	527563	9802212	15.03
OL-35	527910	9802590	18.60
OL-36	527563	9802390	7.7
OL-37	527985	9802296	12.0
OL-38	528221	9802242	16.71
OL-39	527888	9802532	19.5

Tabla 4.2.- Coordenadas y datum de los SEV.

Fuente: Montalván F., 2008

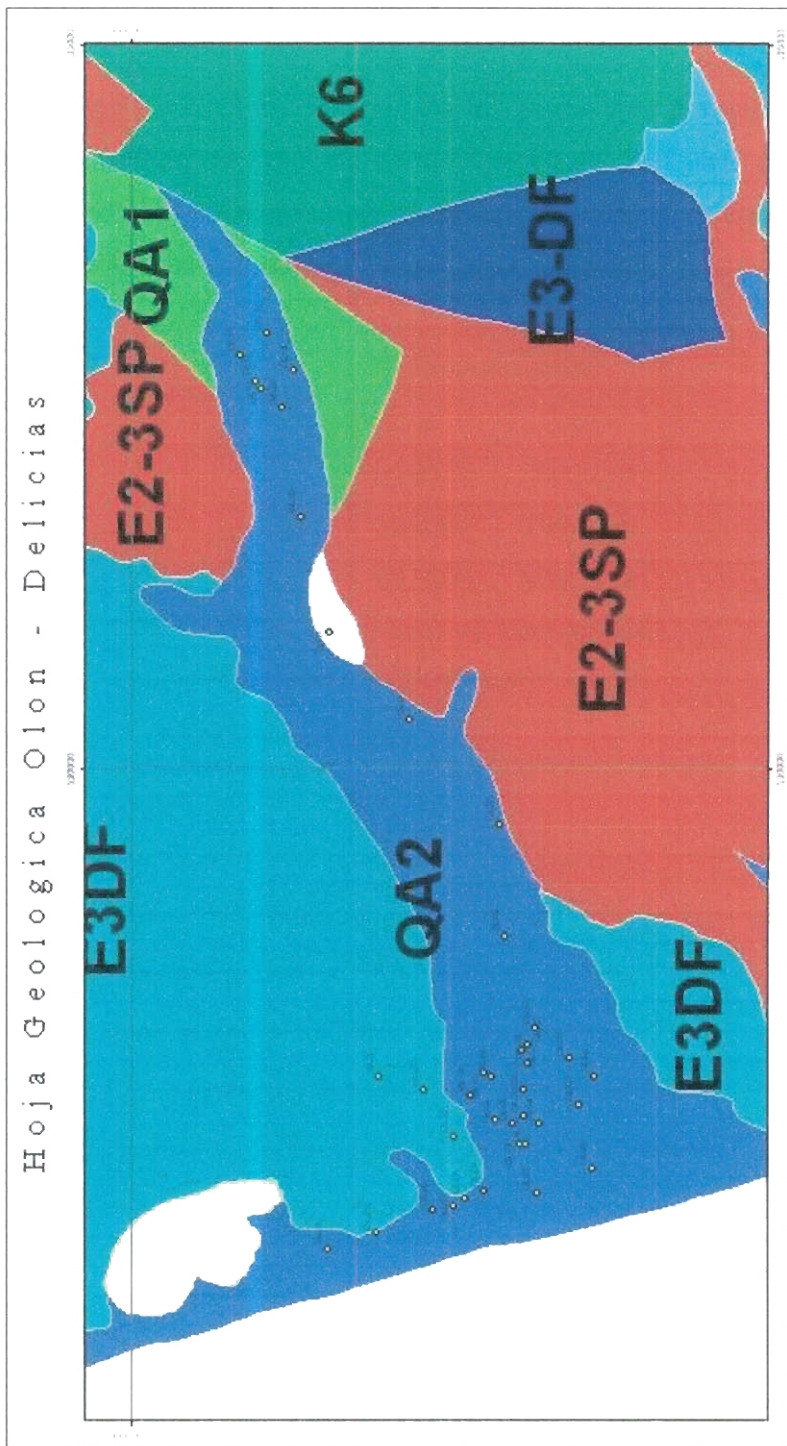


Fig. 4.7.- Ubicación de SEV
Fuente: Proyecto VLIR-ESPOL 2007.

4.4 Toma de muestras de aguas de pozos.

Se tomaron 3 muestras de agua de los pozos que actualmente están en uso. La cantidad de agua de cada muestra es de 1 litro, para el análisis correspondiente. El agua extraída de los pozos es para consumo humano por lo que es necesario llevar un control de calidad del recurso.

Pozo	Coordenadas	
	x	y
2	528079	9802274
3	528088	9802470
7	527608	9802324

Tabla 4.3.- Pozos vs. Coordenadas.

Fuente: Montalván F., 2008

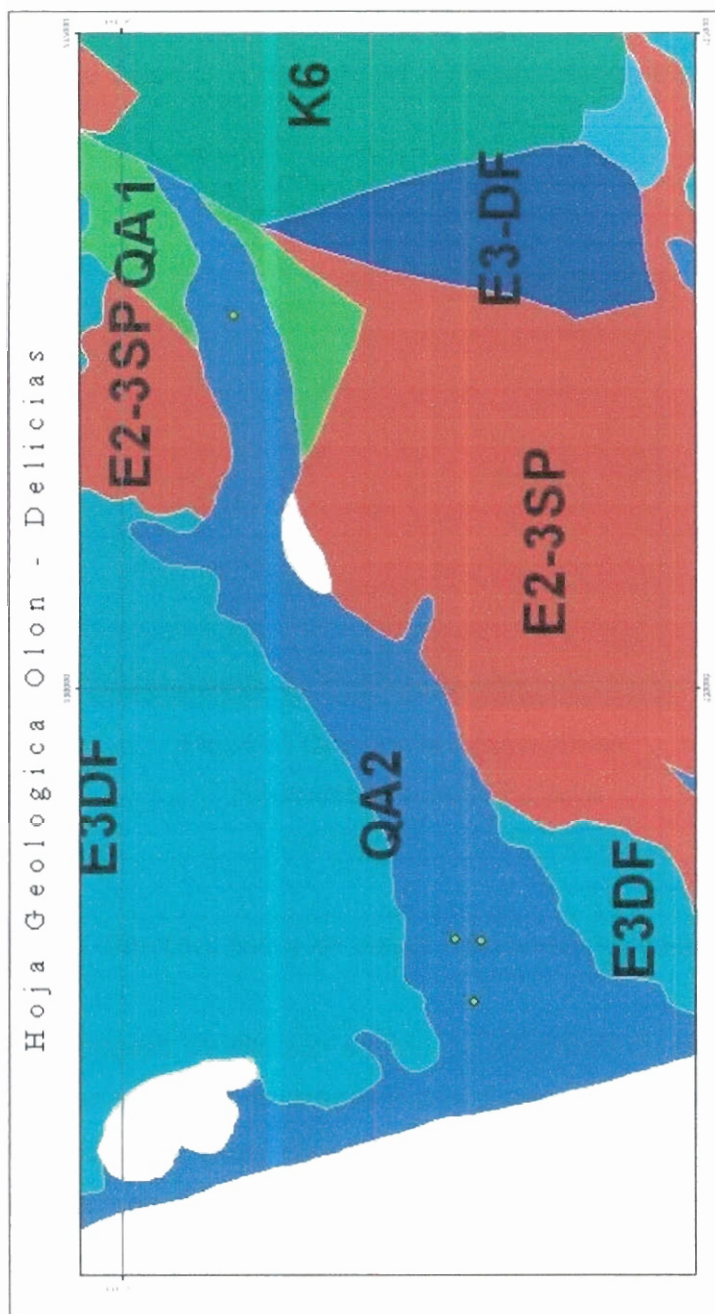


Fig. 4.8.- Ubicación de Muestras de aguas

Fuente: Proyecto VLIR-ESPOL 2007.

Se construyó un colector de aguas lluvias en la Comuna San Vicente de Loja la cual tiene como fin recolectar esta agua para análisis químicos e isotópicos. Este colector consta de un embudo, manguera, un recipiente de 18 litros.



Fig. 4.9.- Colector de Aguas Lluvias.

Fuente: Montalván F., 2008

4.5 Ensayo de dilución, toma de datos de conductividad eléctrica.

Se realizó un ensayo de dilución en uno de los pozos de la JRAO, el mismo que consistió en utilizar como trazador una disolución de NaCl (sal común) la cual fue vertida en el pozo para luego tomar valores de conductividad en intervalos de tiempo, ensayo con el que se permite dar información sobre la velocidad del acuífero.

Para este ensayo se utilizó la sonda de conductividad WTW LF 197 i con 100 m de cable.

	Tiempo (min.)								
	0	1	5	10	15	20	30	40	130
9	1330	5410	2930	2610	2610	2750	2770	2900	3330
10	1332	7090	5440	4600	4200	3910	3700	3560	3330
11	1332	6820	4350	4060	3710	3730	3580	3500	3320
12	1331	1830	3180	3200	3350	3360	3330	3350	3350
13	1332	2970	3090	3250	3320	3330	3340	3350	3410
14	1324	6810	5140	4560	4300	4110	3900	3790	3250
15	1319	4110	3850	3960	3900	3890	3930	3930	3070
16	1317	6210	5280	4840	4750	4590	4380	4210	2880
17	1316	5830	5110	4930	4800	4640	4490	4270	2600
18	1315	9450	8450	7900	7530	7310	6950	6650	4890
19	1315	6100	7350	7590	7500	7450	7220	6970	5910

Tabla 4.4.- Datos de conductividad eléctrica a diferentes profundidades del pozo #8.

Fuente: Montalván F., 2008.



Fig. 4.10.- Sonda de Conductividad WTW LF 197 i

Fuente: Montalván F., 2008



Fig. 4.11.- Vertido de la disolución del NaCl en el pozo

Fuente: Montalván F., 2008.

CAPÍTULO V

TRABAJO DE OFICINA.

Digitalización de Mapas e Integración en GIS.

realizó la digitación de las hojas topográficas a escala 1:50.000 del IGM. Para la digitalización geológica se tomó como base la realizada por el proyecto ORSTOM a escala 1:50.000. Las hojas digitalizadas fueron Olón y Alicias.

La integración de se la realizó en el software ARCGIS 8.3 del cual la ESPOL tiene licencia por parte del Proyecto VLIR-ESPOL.

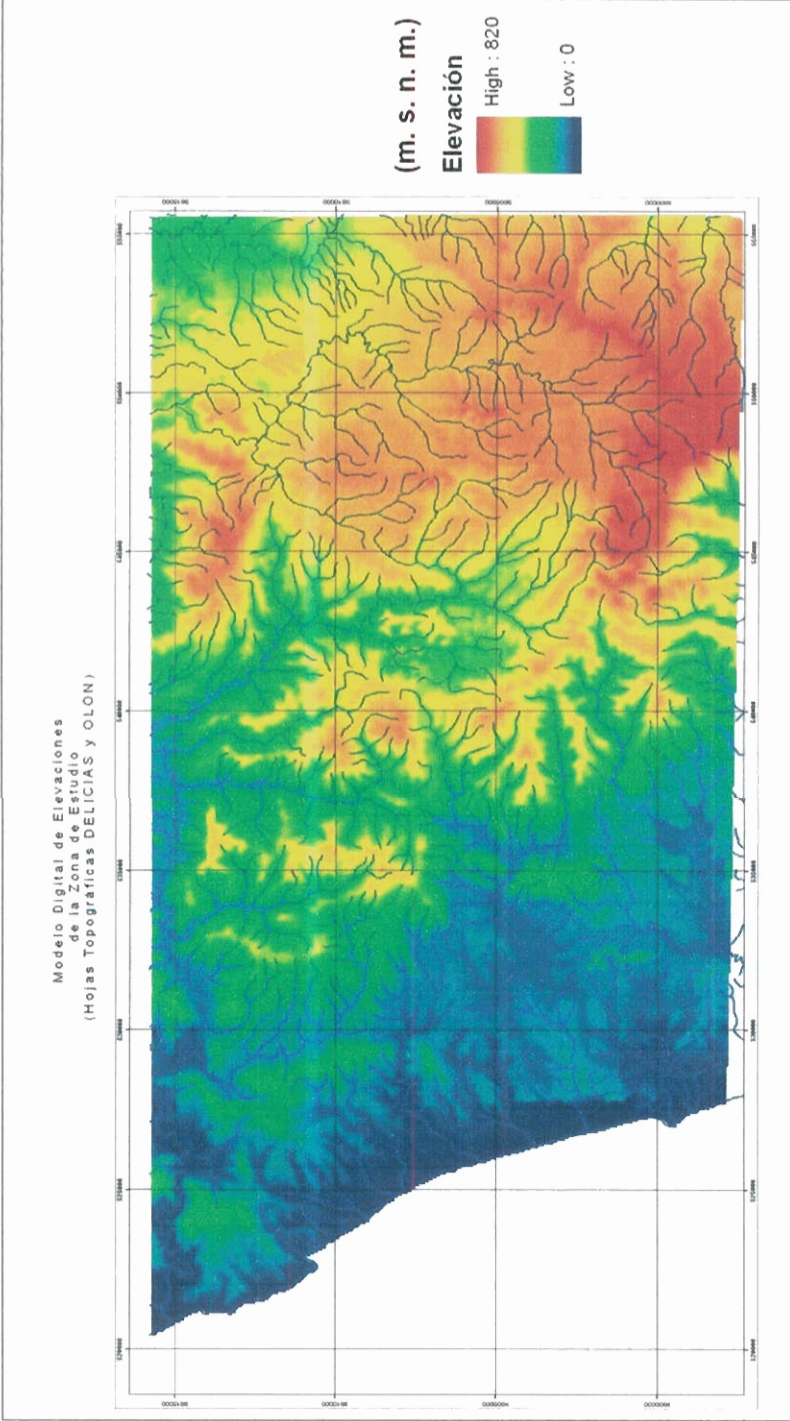


Fig 5.2.- Hoja Topográfica Olón-Delicias. Escala 1:50.000

Fuente: Proyecto VLIR-ESPOL 2007.

5.2 Procesamiento de Datos Sondeos Eléctricos Verticales.

Los datos de los SEV fueron procesados en el software WINSEV 6.1, del cual la ESPOL posee licencia, el mismo que consistió en ingresar los valores obtenidos con el método de resistividades en el campo, obteniendo un modelo de las distintas capas del subsuelo.

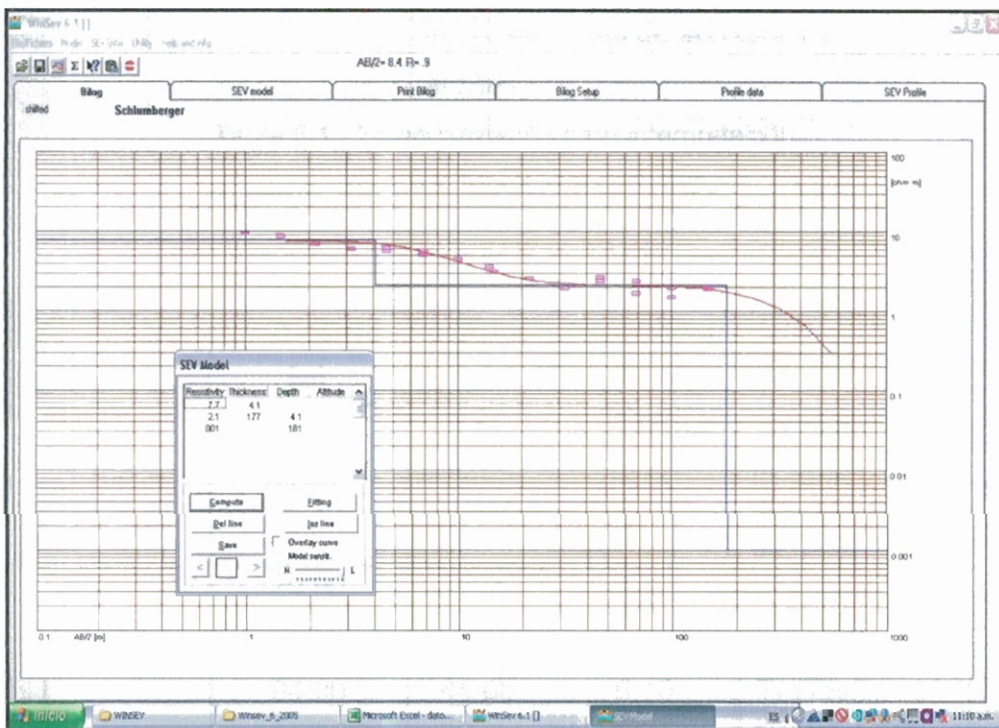


Fig 5.3.- Modelo de resistividades de un SEV en WINSEV 6.1

Fuente: Montalván F., 2008

En la tabla 5.1 se detalla los modelos obtenidos en el software WINSEV 6.1 y la interpretación de los mismos, basados en la estandarización que se detalla en la tabla 5.2.

Estándar	Interpretación
0<x<4	Limo, arcillas
4<x<7	Gravas y arenas en una matriz limosa
7<x<20	Gravas, bolos, arenas limosas, arenas arcillosas
20<x<50	Limonitas y lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas

Tabla 5.1.- Estandarización para interpretación

Fuente: Montalván F., 2008

SEV	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad ($\Omega.m$)	Interpretación
OL-01	0.71	0.71	4.00	Limo arcilloso
	5.70	5.00	16.00	Gravas y arenas limosas
	20.00	14.00	4.10	Gravas y arenas finas con limos
	64.00	44.00	6.10	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
			2.70	Arcillas arenosas
OL-02	2.00	2.00	5.00	Arenas finas con gravas con limos
	6.90	4.90	4.30	Arenas finas con limos y arcillas
	31.00	24.00	5.70	Gravas y arenas con

				limos
	100.00	69.00	4.30	Arenas finas con limos y arcillas
			24.00	Lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas
OL-03	0.84	0.84	4.00	Limo arcilloso
	3.20	2.40	5.60	Gravas y arenas con limos
	4.80	1.60	4.50	Arenas finas con limos y arcillas
	154.00	149.00	2.60	Arcillas arenosas
			2.30	Arcillas limosas
OL-04	0.76	0.76	4.10	Arenas finas con limos y arcillas
	3.10	2.30	12.00	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
	11.00	7.60	2.60	Arcillas arenosas
	69.00	58.00	0.84	Limos arcillosos
			0.03	Limos arcillosos con agua salina
OL-05	0.35	0.35	11.00	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
	3.20	2.80	2.00	Arcillas limosas con agua salina
	124.00	121.00	5.50	Gravas y

				arenas con limos
			0.001	Limo arcilloso con agua salina
OL-06	0.72	0.72	1.90	Arcillas limosas con agua salina
	4.30	3.60	1.20	Limos arcillosos con agua salina
	9.80	5.50	2.40	Arcillas arenosas
	132.00	122.00	1.40	Arcillas limosas con agua salina
	462.00	330.00	1.80	Arcillas limosas
			1.00	Limos y arcillas
OL-07	2.50	2.50	4.40	Gravas y arenas finas con limos
	5.00	2.50	0.96	Arcillas limosas
	61.00	56.00	1.80	Limos arcillosos
	87.00	26.00	2.50	Arcilla arenosa
			4.40	Gravas y arenas finas con limos
OL-08	4.10	4.10	7.70	Gravas con arenas limosas
	181.00	177.00	2.10	Arcillas con arena
			0.001	Arcillas limosas con salinidad
OL-09	0.97	0.97	2.70	Arcilla arenosa
	1.30	0.36	1.70	Limos arcillosos con agua salina

	8.40	7.10	6.60	Gravas con arenas finas y limos
			2.00	Arcillas limosas con agua salina
OL-10	6.70	6.70	2.90	Arcilla arenosa
	52.00	45.00	1.80	Limos arcillosos con agua salina
	54.00	2.30	23.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas
			8.50	Gravas, bolos con arenas limosas
OL-11	0.41	0.41	2.60	Arcillas arenosas
	0.80	0.39	4.20	Gravas y arenas finas con limos con agua salina
	3.10	2.30	5.30	Gravas y arenas gruesas con limos
	7.80	4.70	5.90	Gravas y arenas con limos
	49.00	41.00	2.80	Arcillas arenosas
			220.00	Arenas y gravas
OL-12	3.80	3.80	11.00	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
	4.70	0.92	14.00	Gravas y arenas arcillosas
	15.00	10.00	6.80	Gravas,

				arenas finas en una matriz limosa
	94.00	79.00	1.70	Limo arcilloso
			49.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas
OL-13	0.60	0.60	3.10	Limos con arenas finas
	3.80	3.20	5.40	Gravas y arenas gruesas con limos
	74.00	70.00	3.00	Limos con arenas finas
			0.57	Arcillas limosas
OL-14	1.20	1.20	5.10	Gravas y arenas gruesas con limos
	2.00	0.78	9.90	Gravas y bolos con arenas limosas
	3.30	1.30	3.60	Limos con arenas finas
	23.00	20.00	1.40	Arcillas limosas con agua salina
	47.00	24.00	4.10	Arenas finas con limos y arcillas
			1.00	Limos y arcillas
OL-15	27.00	27.00	5.20	Gravas y arenas gruesas con limos
	32.00	4.90	11.00	Gravas, arenas limosas y

				arenas arcillosas
	71.00	39.00	4.00	Arenas finas con limos y arcillas
			0.001	Arcillas limosas con salinidad
OL-16	1.10	1.10	3.40	Limos arcillosos con agua salina
	1.90	0.79	3.80	Limos con arenas finas
	18.00	16.00	2.60	Arcillas arenosas
			2.50	Arcillas arenosas con salinidad
OL-17	2.20	2.20	6.40	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
	15.00	13.00	2.30	Arcillas arenosas
	63.00	48.00	3.50	Limos arcillosos
			0.71	Arcillas limosas
OL-18	0.19	0.19	4.20	Gravas y arenas finas con limos con agua salina
	4.20	4.00	4.90	Gravas y arenas finas con limos
	12.00	7.40	1.50	Limo arcilloso
			9.10	Gravas, bolos y arenas limosas
OL-19	5.10	5.10	4.10	Gravas y arenas finas con limos con presencia de

				agua salina
	28.00	23.00	1.50	Limo arcilloso
	50.00	22.00	2.40	Arcillas arenosas
			5.00	Gravas y arenas finas con limos
OL-20	0.88	0.88	5.80	Gravas y arenas gruesas con limos
	1.60	0.72	4.30	Gravas y arenas finas con limos
	5.70	4.10	3.70	Limos con arenas finas
	31.00	25.00	2.10	Arcillas limosas
			2.30	Arcillas arenosas
OL-21	2.80	2.80	6.00	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
	64.00	61.00	1.90	Limo arcilloso
			16.00	Gravas y arenas arcillosas
OL-22	0.48	0.48	5.80	Arenas con gravas y limos
	2.80	2.30	2.50	Arcillas arenosas
	12.00	8.90	1.80	Limo arcilloso
			2.10	Arcillas limosas
OL-23	1.10	1.10	5.20	Gravas y arenas gruesas con limos
	112.00	111.00	3.20	Limo arenoso con agua salina
	127.00	15.00	3.70	Limos con

				arenas finas
	138.00	11.00	2.90	Arcillas arenosas
	182.00	44.00	8.00	Gravas y bolos con arenas limosas
			39.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas
OL-24	0.77	0.77	5.00	Arenas con gravas y limos
	2.90	2.10	25.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas
	4.20	1.30	22.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas
			2.80	Arcillas arenosas
OL-25	3.10	3.10	8.40	Gravas y bolos con arenas limosas
	3.70	0.61	5.10	Arenas con gravas y limos
	24.00	20.00	2.20	Arcillas arenosas
	72.00	48.00	1.20	Limo arcilloso
			44.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas y limos
OL-26	0.92	0.92	15.00	Gravas y arenas arcillosas
	1.90	0.98	2.60	Arcillas arenosas
	101.00	99.00	0.95	Limo arcilloso con agua

				salina
	113.00	12.00	10.00	Gravas, bolos y arenas limosas
			66.00	limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas y limos
OL-27	3.50	3.50	2.80	Arcillas arenosas
	8.70	5.20	1.00	Limos y arcillas
	20.00	11.00	2.00	Arcillas arenosas con salinidad
			4.00	Gravas y arenas finas con limos con presencia de agua salina
OL-28	1.50	1.50	7.60	Gravas con arenas limosas con salinidad
	12.00	11.00	15.00	Gravas y arenas arcillosas
	90.00	78.00	0.97	Arcillas limosas
			13.00	Gravas y arenas limosas
OL-29	0.78	0.78	12.00	Gravas y arenas limosas
	11.00	10.00	2.10	Arcillas arenosas
	77.00	66.00	1.60	Limo arcilloso
			0.008	Arcillas limosas con agua salina
OL-30	0.83	0.83	8.00	Gravas y

				arenas limosas
	3.10	2.30	3.00	Limos arcilloso
	59.00	56.00	2.50	Arcillas arenosas con agua salina
			4.50	Gravas y arenas finas con limos
OL-31	1.20	1.20	18.00	Gravas y bolos con arenas arcillosas
	6.30	5.10	35.00	limolitas y lutitas con intercalaciones de limos
	7.90	1.60	14.00	Gravas y bolos con arenas limosas
	57.00	49.00	7.60	Gravas y arenas limosas
	113.00	56.00	4.70	Arenas con gravas y limos
			72.00	limonitas y lutitas con intercalaciones de limos y arcillas
OL-32	1.80	1.80	15.00	Gravas y bolos con arenas limosas
	4.30	2.50	34.00	Limonitas y lutitas con intercalaciones de limos
	7.60	3.30	22.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos con salinidad
			5.00	Arenas con gravas y limos

OL-33	2.70	2.70	8.80	Gravas y arenas limosas
	41.00	38.00	5.70	Gravas y arenas gruesas con limos
			3.00	Limos con arenas finas
OL-34	2.60	2.60	14.00	Gravas y bolos con arenas limosas
	71.00	68.00	60.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos y arcillas
	80.00	9.00	24.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos con salinidad
			5.30	Arenas con gravas y limos
OL-35	0.82	0.82	8.10	Gravas con arenas limosas
	5.80	5.00	2.70	Arcillas arenosas
	95.00	89.00	4.90	Arenas con gravas y limos
			2.00	Arcillas arenosas con salinidad
OL-36	1.20	1.20	22.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos con salinidad
	1.40	0.18	4.80	Arenas con gravas y limos
	43.00	42.00	8.80	Gravas y arenas

				limosas
	67.00	24.00	6.60	Gravas con arenas limosas
	127.00	60.00	3.80	Limos con arenas finas
			0.004	Arcillas limosas
OL-37	3.40	3.40	27.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas
	16.00	13.00	15.00	Gravas con arenas limosas
	116.00	100.00	6.10	Gravas con arenas finas y limo
			0.002	Arcillas limosas
OL-38	106.00	106.00	14.00	Gravas con arenas limosas
	106.00	0.45	49.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos y arcillas
			17.00	Gravas y bolos con arenas limosas
OL-39	1.00	1.00	25.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas
	1.70	0.72	24.00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas con salinidad
	11.00	9.10	13.00	Gravas con arenas limosas

	52.00	41.00	3.20	Limos con arenas finas
			7.50	Gravas con arenas limosas

Tabla 5.2.- Modelos de resistividades.

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008

5.3 Determinación de la superficie Piezométrica.

Se utilizó la Sonda de Nivel SEBA modelo KLL con un alcance en profundidad de 200 m. El trabajo consistió en tomar los niveles en los pozos # 6, # 4 que no están en funcionamiento mientras que en los pozos activos se estaba bombeando hacia los tanques de almacenamiento, los pozos en los que se realizó el seguimiento de niveles durante 24 horas fueron utilizados como pozos de observación, estos pozos pertenecen a la JRAO. Además se realizó la medición de niveles en el pozo # 8 que no está bajo la administración de la JRAO y al cual pudimos tener acceso, este pozo en el 2007 fue conectado a la red de distribución de la junta debido a que los caudales de los pozos disminuyeron considerablemente y demanda del líquido era alta. La superficie piezométrica se encuentra aproximadamente a 7.50 m de la superficie. En la tabla 5.2 se puede apreciar el promedio de los niveles que se obtuvieron durante la medición de niveles.

Pozo	X	Y	Nivel de agua (m)	Fondo (m)
4	528215	9802242	10.89	14.06
6	528079	9802274	9.82	13.45
8	527985	9802296	8.23	19.15

Tabla 5.3.- Niveles de agua en pozos

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.

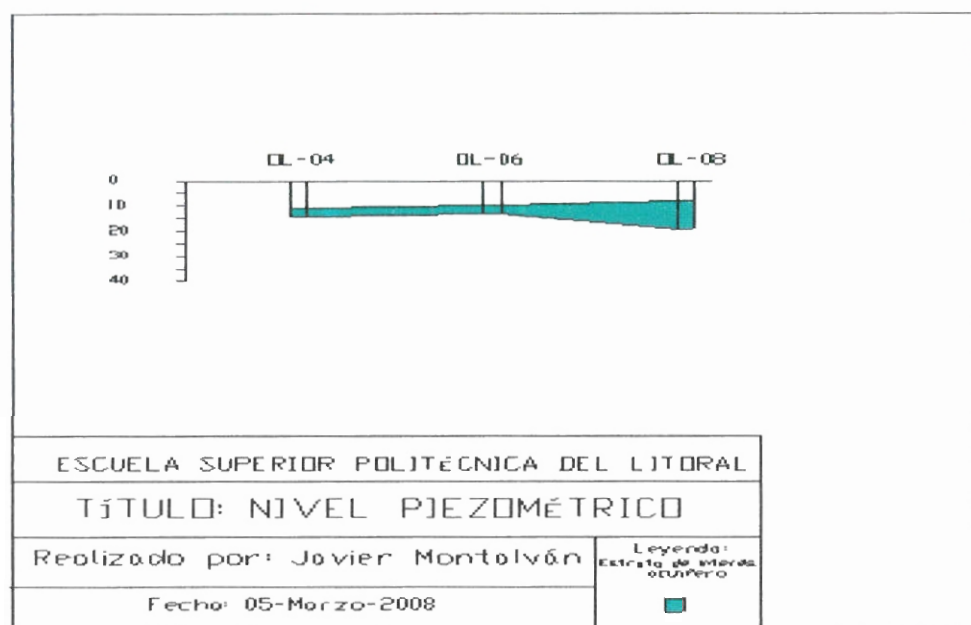


Fig. 5.4.- Niveles Piezométricos del campo de pozos de Olón

Fuente: Montalván F., 2008

5.4 Determinación de velocidad del acuífero.

El ensayo de dilución consiste en utilizar NaCl (sal común) como un trazador artificial, tomando medidas de Conductividad Eléctrica (CE) en intervalos de tiempo, para lo cual se utiliza la siguiente metodología:

1. Con la sonda de nivel se establece el nivel de agua y el fondo del pozo para establecer la columna de agua existente.
2. Se calcula la cantidad de NaCl necesario que al mezclarlo con agua forma la solución que se utilizará como trazador.
3. Antes de verter la solución se debe realizar una primera medida de CE, medida que será utilizada como valor inicial del ensayo.
4. Luego se vierte esta solución en una manguera (se debe utilizar embudo) la cual ha sido introducida en el pozo.
5. Para que la solución sea distribuida uniformemente en todo el pozo, se debe retirar la manguera a un ritmo constante.
6. Se toman medidas de CE en intervalos de tiempo.
7. Se realizan cálculos con los datos obtenidos (Fig. 4.3) para determinar la velocidad del acuífero.

Con los datos de conductividad se observó el comportamiento del pozo mediante la dilución de la sal a diferentes profundidades durante 130 minutos (fig. 5.1). Para el cálculo de la velocidad horizontal del acuífero se puede realizar el método de ajuste de la curva exponencial y el método de ajuste lineal.

Para el primer método se hace una gráfica semilogarítmica con el promedio de las CE contra tiempos de toma de perfiles, estando las CE en el eje logarítmico (ordenadas) y se calcula la línea de tendencia exponencial (Fig. 5.2), obteniendo la ecuación de la línea de tendencia:

$$y = 3264.9 \cdot e^{-0.0038 \cdot x} \quad \{\text{Ec 5.1}\}$$

y	ln (y)	Factor	ln (Factor)	Factor EXP	x
1.000	6.9078	3.264.9	8.0910	-0.0038	311
100	4.6052	3.264.9	8.0910	-0.0038	917

Tabla 5.4.- Valores de x para el cálculo de la velocidad.

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.

entras que para el segundo método se hace una gráfica en papel métrico Log10Prom CE contra tiempos de toma de perfiles, estando las CE en las ordenadas y de igual forma se calcula la línea de tendencia lineal (Fig. 3), obtenido la ecuación de la línea de tendencia:

$$y = -0.0016 \cdot x + 3.5139 \quad \{\text{Ec 5.2}\}$$

y	Pendiente	Térm. Indep	x
3.0	-0.0016	3.5139	321
2.0	-0.0016	3.5139	946

Tabla 5.5.- Valores de x para el cálculo de la velocidad

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.

Ensayo de Dilución

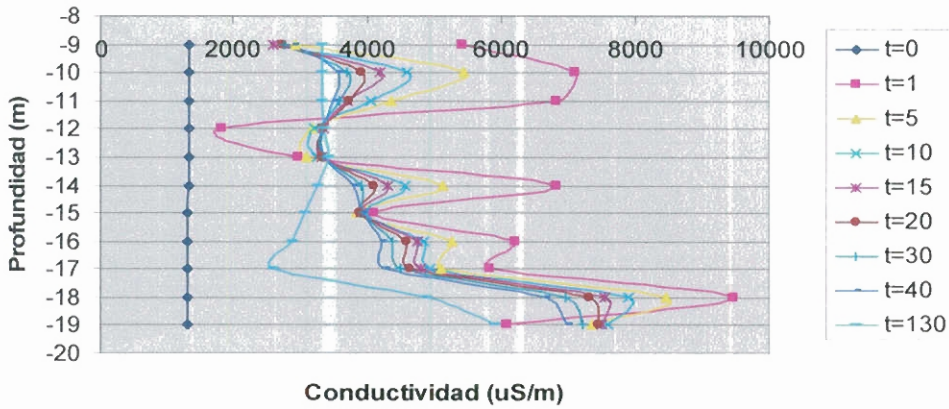


Fig 5.5.- Comportamiento del pozo.

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.

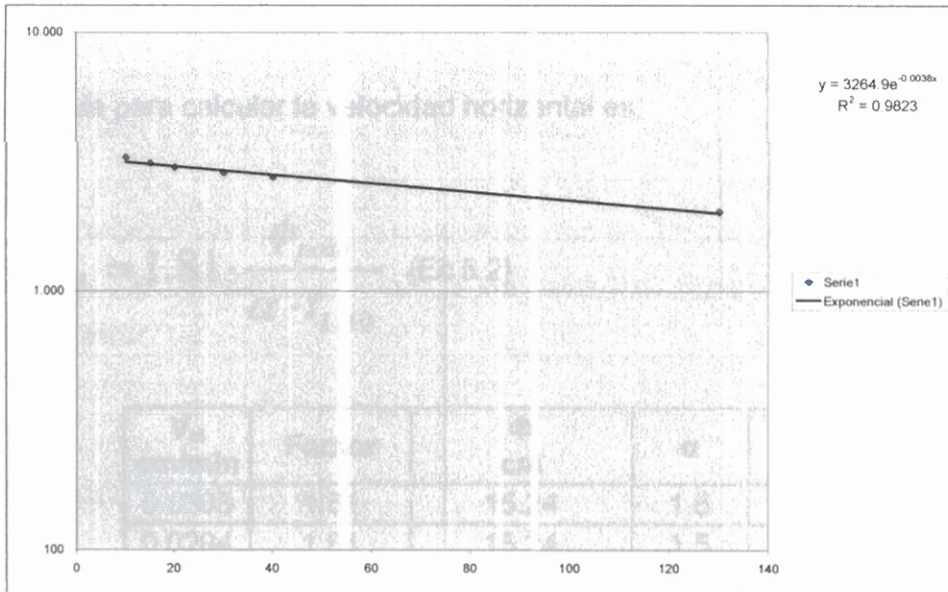
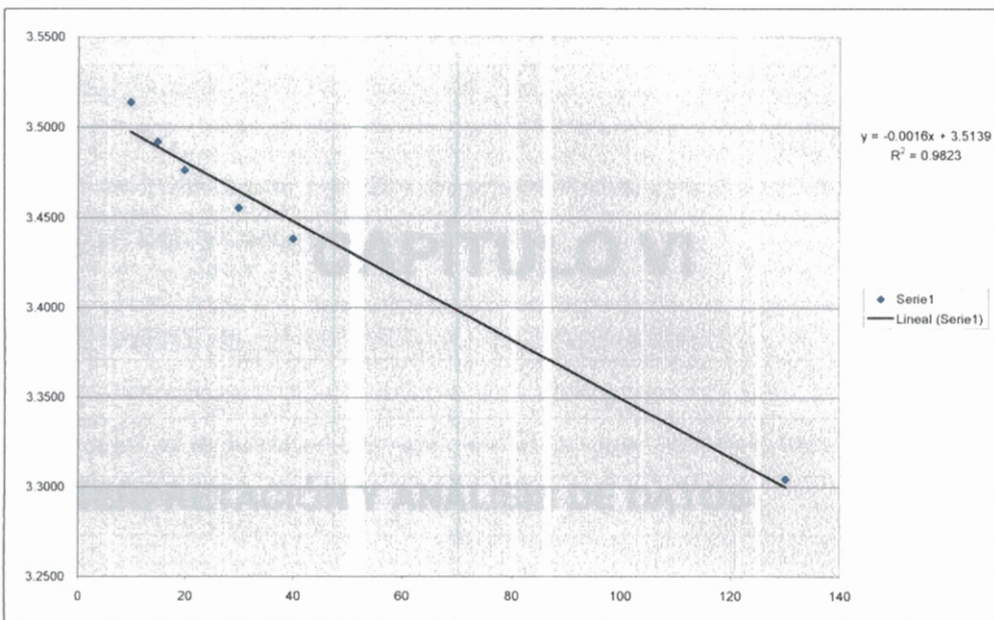


Fig 5.6.- Prom. de las CE vs. Tiempo

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.



La fórmula para calcular la velocidad horizontal es:

$$V_H = 1.81 \cdot \frac{\phi_{\text{pozo}}}{\alpha \cdot t_{1/10}} \quad \{\text{Ec 5.2}\}$$

V_H cm/min	Factor	Φ cm	α	$t_{1/10}$ min
0.0303	1.81	15.24	1.5	606
0.0294	1.81	15.24	1.5	625

Tabla 5.6.- Velocidad horizontal del Acuífero Olón.

Fuente y Elaboración: Montalván F., 2008.

Entonces la velocidad es de 0.44 m/día y 0.42 m/día respectivamente.

CAPÍTULO VI

VI. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

VI.1 Sondeos Eléctricos Verticales

La interpretación de los SEV se realizó utilizando el software WINSEV 6.1, interpretación que se correlacionó con la geología del sector. Se realizaron columnas geoeléctricas y cortes geoeléctricos del acuífero en base a la interpretación del programa antes mencionado.

La interpretación de los SEV que se realizaron en los alrededores del campo de pozos fue correlacionada con la columna estratigráfica realizada en el mismo sector.

VI.2 Calidad y usos del agua

Se tomaron 6 muestras de aguas en los pozos de la JRAO que están siendo utilizados para el abastecimiento de las comunas (#2, #3 y #7). Los análisis dieron como resultado que el porcentaje de salinidad del agua es

moderadamente bajo, con lo que el agua que se distribuye para uso doméstico se considera de buena calidad.

Además se analizó una muestra de aguas lluvias que fue tomada del colector ubicado en San Vicente de Loja.

Para las normas de calidad de aguas se utilizó la clasificación de Riverside.

Según esta clasificación los seis análisis que se realizaron a los pozos pertenecen al tipo C2S1.

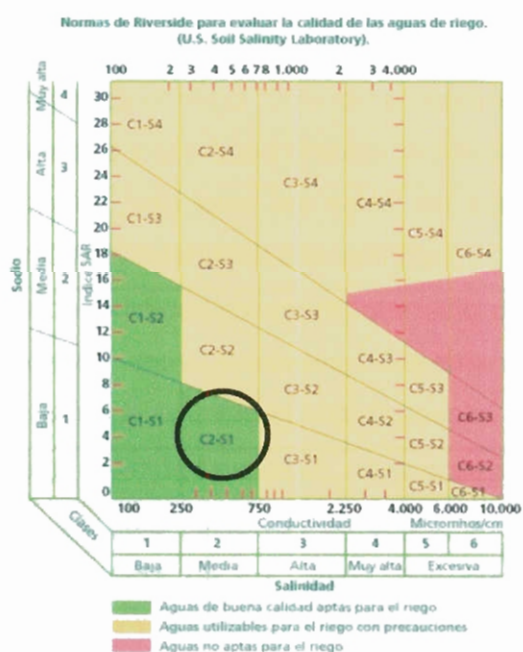


Fig. 6.1.- Clasificación de Riverside

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)

Tipos.	Calidad y normas de uso.
C ₁ .	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂ .	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃ .	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄ .	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₅ .	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C ₆ .	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S ₁ .	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂ .	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y

	franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S ₃ .	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄ .	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Tabla 6.1.- Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside.

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)

Muestra	Location	Sample_Date	X	Y	Depth (m)	pH	Cond (u ohm)	TDS (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)
OL-PZ-02	Olón	30/01/08	528079	9802274	23	8.1	970	620.8	79.58	9.38	27.46	76	124.08	85.44	270.84
OL-PZ-03	Olón	30/01/08	528088	9802470	23	7.1	740	473.6	66.70	3.52	23.21	51.60	75.15	79.68	220.82
OL-PZ-07	Olón	30/01/08	527608	9802242	27	6.9	1200	768	119.6	3.21	28.86	88.2	203.84	72.96	290.36
OL-PZ-02	Olón	29/02/08	528079	9802274	23	7.2	1070	685	74.75	5.87	33.41	88	104.22	148.80	272.06
OL-PZ-03	Olón	29/02/08	528088	9802470	23	7.3	770	493	57.50	7.04	20.66	60.00	60.97	101.76	204.96
OL-PZ-07	Olón	29/02/08	527608	9802242	27	7.1	1240	794	81.88	10.95	45.44	102.00	184.34	119.04	287.92
OL-CL-01	SVL	29/02/08	532703	9803964	-	6.7	32	20	1.61	2.74	0.97	4.00	4.25	2.88	14.64

Tabla 6.2. Datos de Análisis Químicos.

Fuente: Montalván F., 2008

6.3 Selección de sitios para perforación de pozos de agua

Con la interpretación conjunta realizada, el lugar idóneo para la explotación del recurso sigue siendo donde se ubica actualmente el campo de pozos.

En el campo de pozos se encuentra el estrato de interés el mismo que posee una potencia promedio de 15m. La zona de estudio pertenece a una terraza aluvial.

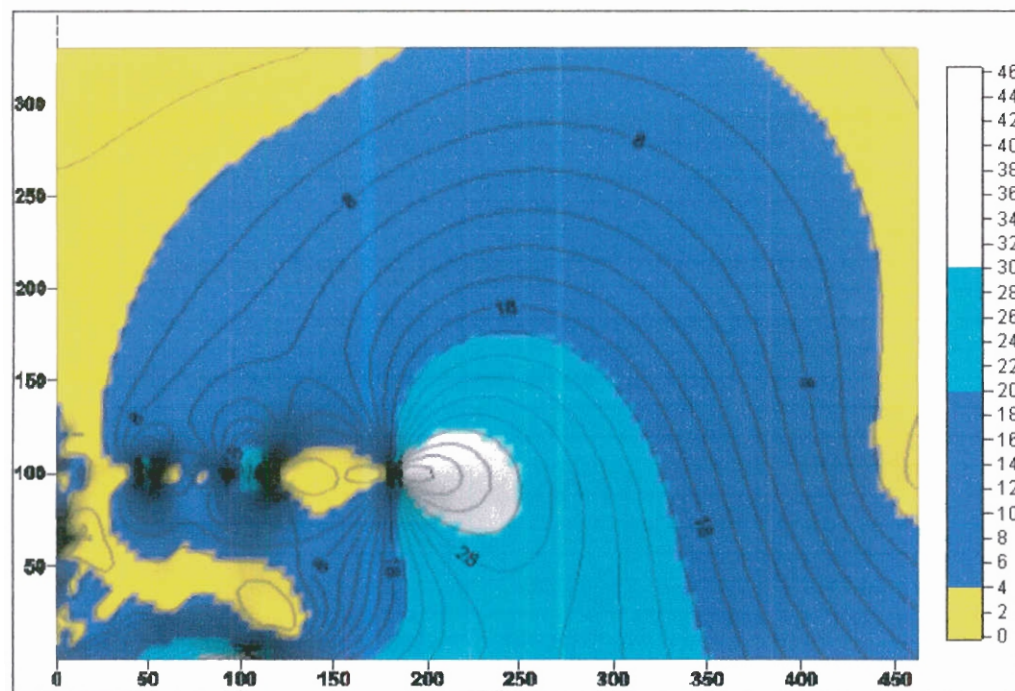


Fig 6.2.- Mapa de iso-resistividades.

Fuente: Originado en el programa SURFER

6.4 Estimación de reservas del acuífero

Para estimar las reservas se realizaron cortes geoelectricos y se utilizó el método de los perfiles.

$$V = \left[\frac{(A_1 + A_2)}{2} \right] \times d$$

Los pozos de la JRAO tienen una profundidad máxima de 27 m por lo cual se ha tomado como la potencia de estos de aproximadamente 30 m.

El área (sección) del corte A A' será de 1800 m² y el del corte B B' de 2400 m² (Anexo 2).

La distancia entre los cortes es de 500 m.

La porosidad para este tipo de material es de 0.2.

$$V = \left[\left[\frac{(12000 + 14400)}{2} \right] \times 500 \right] \times 0.2$$

$$V = 1.3 \text{ millones de } m^3$$

Las reservas de la unidad acuífera fueron calculadas por el método de perfiles geoelectricos, con el que fueron estimadas las reservas, estimación que es de 1.3 millones de metros cúbicos.

6.5 Propuesta de plan de explotación de aguas subterráneas

Para realizar esta propuesta se tomaron en cuenta las reservas de agua dulce que existen actualmente, la demanda de agua que se está utilizando, la recarga natural del acuífero y la sociedad.

Actualmente, se están utilizando 26.000 m^3 al mes, por lo que al año se consume 312.000 m^3 aproximadamente según los datos manejados por la JRAO. Al ritmo actual de explotación y sin considerar la recarga natural suficiente para el acuífero, es decir con precipitaciones por debajo de los 200mm al año, las reservas actuales alcanzarían para 4 años; además se debe tomar en consideración que existen pozos que no son controlados por la Junta y por ende se desconoce el volumen extraído por lo que en realidad la escasez de agua se hará evidente antes del tiempo previsto, el registro histórico de precipitaciones que posee el CEDEGÉ (Fig. 3.1), indica que los periodos de sequía son de aproximadamente de 7 a 10 años.

Además, es un acuífero libre costero y existe agua dulce que desemboca en el mar.

El acuífero de la cuenca del río Olón obtiene su recarga de la parte alta de la Cordillera Chongón-Colonche donde existen precipitaciones que están por encima de los 500mm , en esta parte de la cordillera existe abundante vegetación.

Con lo antes mencionado el plan de explotación que se propone es el siguiente:

1. En la ubicación actual del campo de pozos (Fig. 6.3), podría ocurrir una interferencia entre ellos es decir un inadecuado diseño.

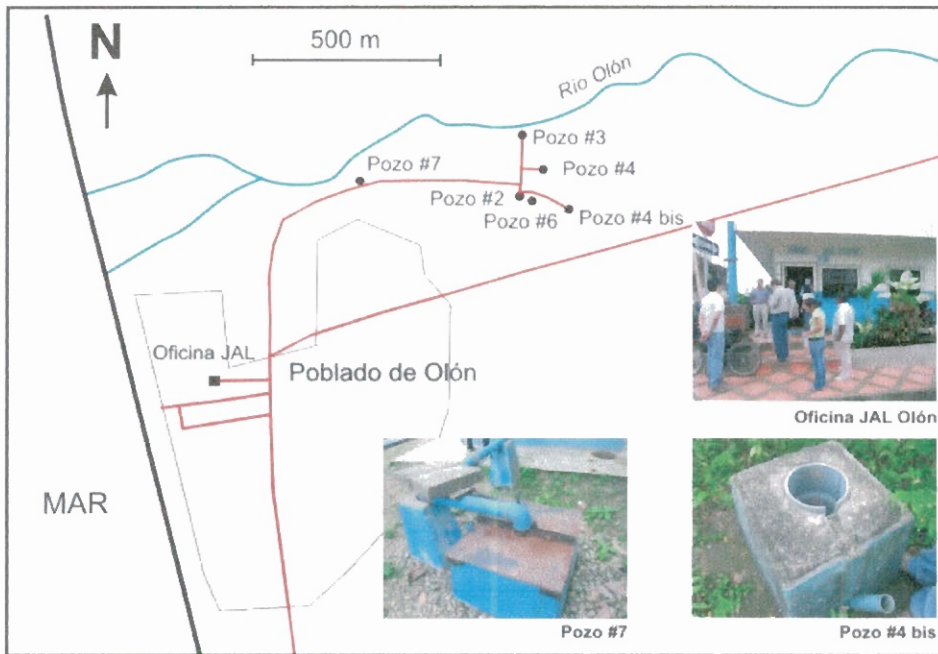


Fig 6.3.- Campo de pozos de la JRAO

Fuente y Elaboración: Informe Evaluación Hidrogeológica Preliminar de la PSE (OIEA), 2007

2. Para que no exista interferencia entre los pozos se propone que el bombeo sea intercalado para que el pozo se pueda recuperar y evitar de esta manera que la intrusión marina avance.
3. Construir piezómetros en cada uno de los pozos que se están utilizando para el monitoreo periódico de niveles, análisis químicos, ensayos de dilución, entre otros.
4. Construir un pozo en la parte este del acuífero donde existen posibilidades de agua dulce consiguiendo disminuir los largos periodos de bombeo.
5. La población de las comunas que se benefician del líquido que distribuye la JRAO deben conocer e integrarse a la protección del

acuífero, consumir el agua necesaria para uso doméstico para conseguir una correcta gestión del recurso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1. Con las campañas geoelectricas se definió preliminarmente la unidad acuífera de la cuenca del río Olón, constando de una terraza aluvial de espesores variables entre 10 y 40 m. Así mismo las reservas de la zona de estudio se estimaron en aproximadamente 1.3 millones de m³.
2. De acuerdo a la clasificación que propone el IGME el acuífero de Olón es poroso-libre-costero.
3. El mejor lugar para la explotación del recurso es donde se encuentra el actual campo de pozos debido que en esa zona del sector el estrato de interés es de aproximadamente de 40 a 50 m.
4. Con las pruebas de dilución que se realizaron en los pozos se determinó la velocidad horizontal del acuífero hacia el mar es de aproximadamente 0.42 m/día.

5. La superficie piezométrica se encuentra a 9 m desde la superficie según el registro periódico de niveles.
6. En la investigación hidrogeológica preliminar se estableció que el acuífero posee una transmisividad de $17 \text{ m}^2/\text{día}$, permeabilidad de 1.6 m/día , porosidad del 20%.
7. El recurso que se obtiene del acuífero y que distribuye la JRAO se considera de buena calidad para uso doméstico según la clasificación de Riverside.

Recomendaciones:

1. Realizar una nueva campaña de SEV en época de estiaje para correlacionarlos con la campaña que se llevó a cabo en esta tesis, la cual se llevó a cabo en época invernal (Lluviosa).
2. Para obtener el balance hídrico en la cuenca del río Olón se debe realizar un inventario de pozos particulares y que la JRAO tenga acceso a los mismos para tener un registro de la cantidad de agua que se extrae, debido a que es un requisito fundamental para éste propósito.
3. Seguir efectuando periódicamente ensayos de dilución y medición de niveles en los pozos que pertenecen a la JRAO y también realizar estos ensayos en los pozos particulares para poder llevar un control de estos parámetros.

4. Ejecutar una campaña de toma de muestras en los pozos y en el río para análisis físicos-químicos como también para análisis isotópicos.
5. Debido a que el acuífero descarga agua dulce en el océano Pacífico y tomando en cuenta los períodos de sequía se recomienda hacer una barrera impermeabilizada con el fin de que la menor cantidad de agua subterránea se deposite en el mar.
6. Reelaborar el Plan de Explotación con medidas en dos años.

REFERENCIAS

1. Romero P., Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche. ESPOL-FICT, 2002, 261 p.
2. MIDUVI, Informe Técnico de los Estudios de Prospección Geofísica, efectuado en el valle de Olón, perteneciente al cantón Santa Elena-Provincia del Guayas. 1997.
3. MIDUVI, Informe Técnico de los Estudios de Prospección Geofísica para la Investigación de aguas subterráneas realizados en las localidades de Olón Manglaralto y Carrizal (Regional Valdivia), Jurisdicción del cantón Santa Elena-Provincia del Guayas. 2004.
4. Junta Regional de Agua Potable de Olón, Rediseño de Reubicación de la línea de conducción para las poblaciones de Curía, San José, Las Núñez y La Entrada del sistema regional de agua potable de Olón, Parroquia Manglaralto Cantón Santa Elena. 2006.
5. Tarbuck E. y Lutgens. Ciencias de la Tierra, Una Introducción a la Geología Física. Prentice Hall. 2005. 686 p..
6. Enger y Smith. Ciencia Ambiental. Un estudio de interrelaciones. Mc Graw Hill. 2006, 475 p.

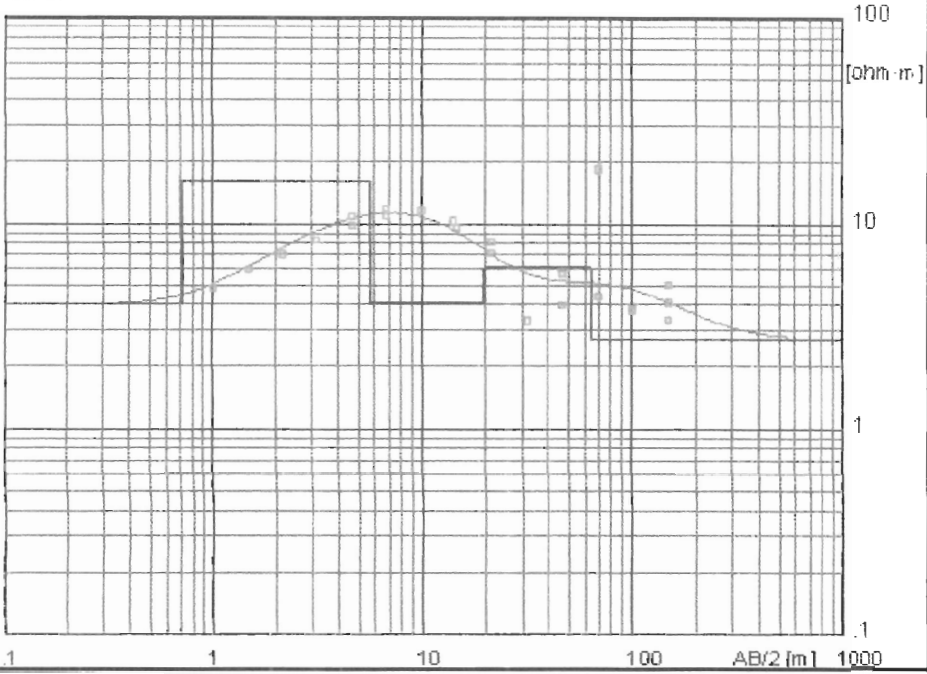
7. Sánchez J., Conceptos Fundamentales de Hidrogeología. Universidad de Salamanca. 8 p.
8. Instituto Tecnológico Geominero de España. Tecnología Básica de la Recarga Artificial de Acuíferos. IGME.
9. Sánchez J., El Ciclo Hidrológico. Universidad de Salamanca. 2004, 9 p.
10. Benítez A., Captación de Aguas Subterráneas. Dossat. 1972, p. 153.
11. Orellana E., Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. Paraninfo, 1982, 578 p.
12. Gasulla M., Obtención de Imágenes de la distribución de impedancia eléctrica en el subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales. Universidad Politécnica de Cataluña. 193 p.
13. Roy A., Apparao A. Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics*, 1971, 36(5): p. 943-958.
14. Edwards, L.S. A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 1977, 42(5): p. 1020-1036.
15. Barker, R.D. Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. *Geophysics*, 1989, 54(8): p. 1031-1037.
16. Bénites S., Evolution Geodynamique de la Province Côtière Sud-Équatorienne au Cracé Supérieur-Tertiaire, *Géologie Alpine*, édité par le laboratoire de géologie de L'universite Joseph Fourier, 1995, p. 5-16.
17. Romero et al. Proceso de intrusión marina en acuíferos costeros. *Revista Investigación y Desarrollo. ESPOL*, 2008. Vol. 15, p. 48-50.
18. Carrión P., Estudio Geoambiental del Envejecimiento de Tuberías Metálicas. Aplicación a los Pozos de Agua. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1996, 397 p.
19. Toro Luís., Evaluación Hidrogeológica Preliminar de la Península de Santa Elena, Ecuador. Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007, 26 p.

ANEXO 1

Columnas Geoelectricas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

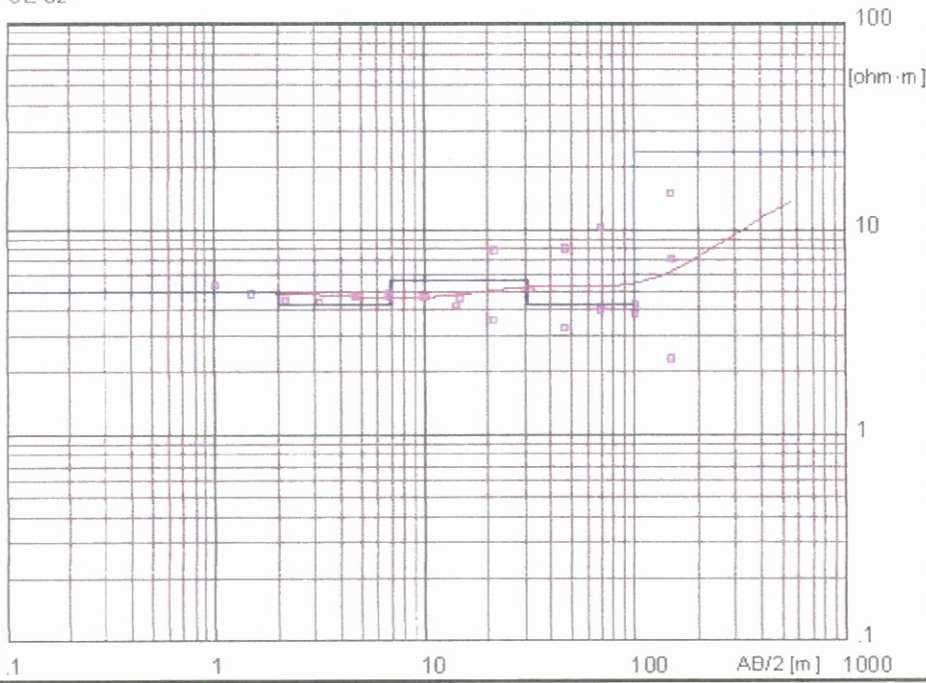
OL-01



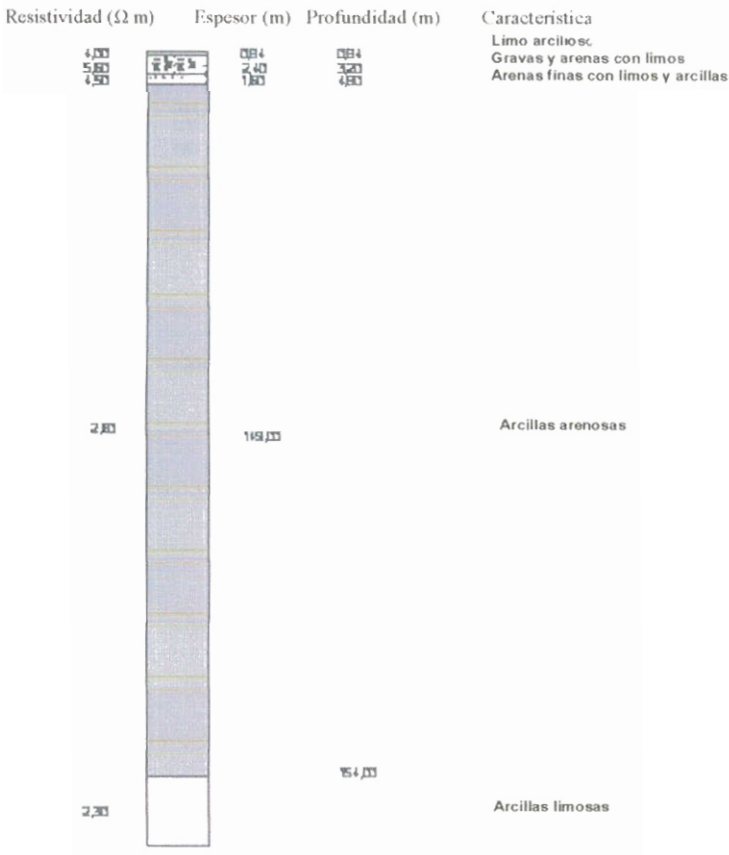
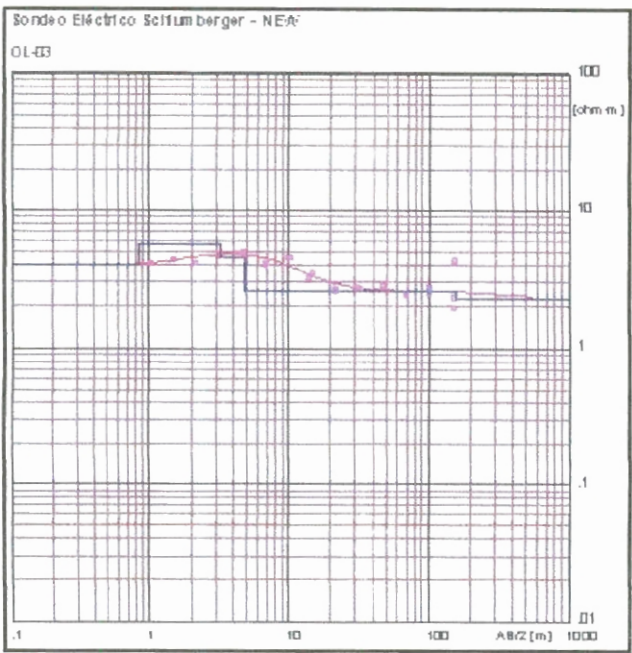
Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
4,00	0,71	0,71	Limo arcilloso
16,00	5,00	5,70	Gravas y arenas limosas
4,10	14,00	20,00	Gravas y arenas finas con limos
6,10	44,00	64,00	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
2,70		64,00	Arcillas arenosas

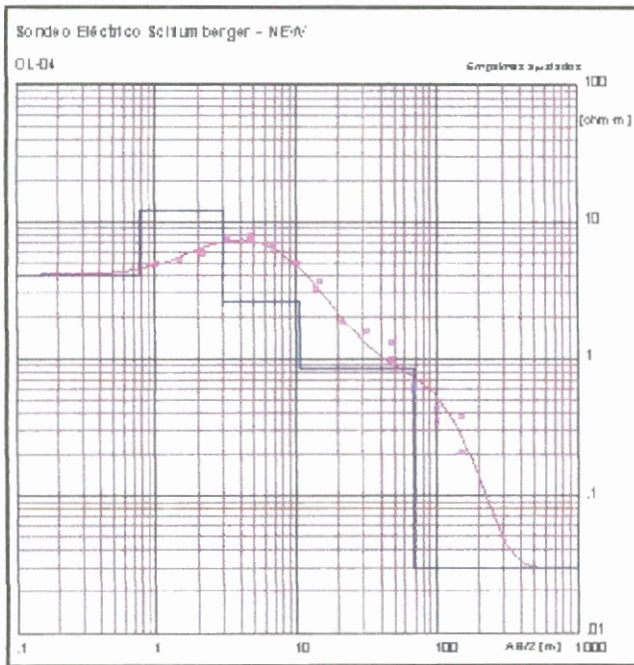
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-02

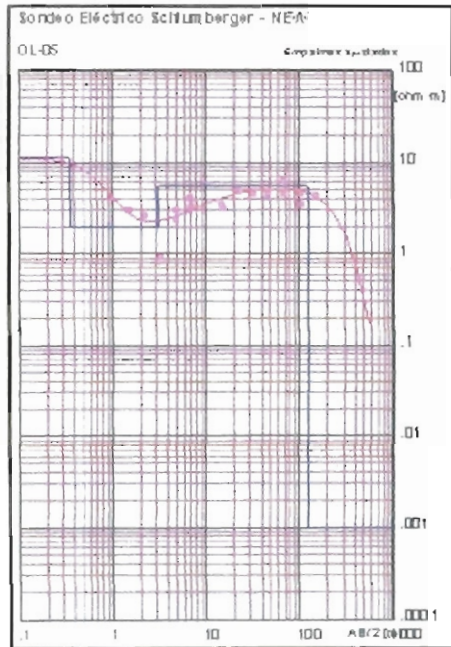


Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
5,00	2,00	2,00	Arenas finas con gravas con limos
4,30	4,50	6,50	Arenas finas con limos y arcillas
5,10	24,00	31,00	Gravas y arenas con limos
4,30	69,00	100,00	Arenas finas con limos y arcillas
24,00			Lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas





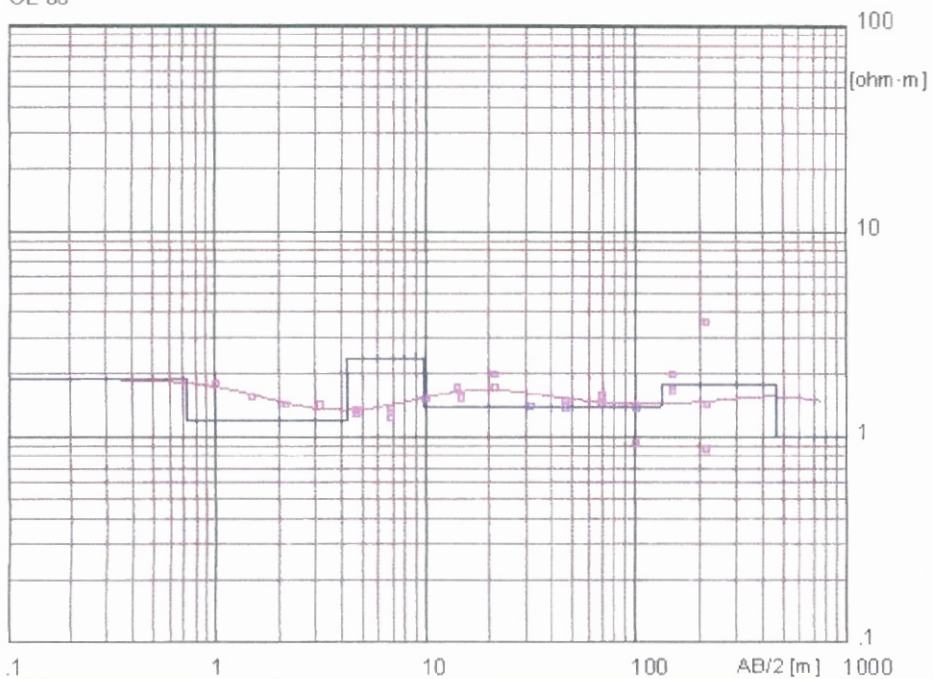
Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
4.33	0.16	0.16	Arenas finas con limos y arcillas
12.33	2.30	3.10	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
2.63	7.80	7.33	Arcillas arenosas
0.84	53.33		Limos arcillosos
0.28		53.33	Limos arcillosos con agua salina



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Características
11.00 2.00	0.35 2.83	0.35 3.20	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas Arcillas limosas con agua salina
5.50	0.20	3.40	Gravas y arenas con limos
0.50	0.20	3.60	Limo arcilloso con agua salina

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

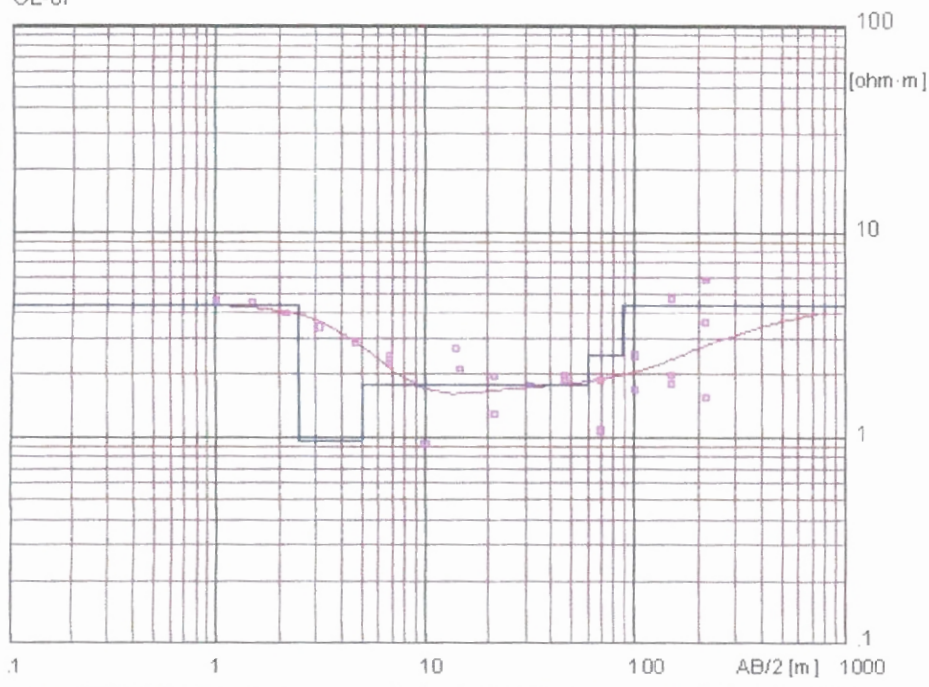
OL-06



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
5,00	2,00	2,00	Arcillas limosas con agua salina Limos arcillosos con agua salina Arcillas arenosas
4,30	4,50	4,50	
	6,50	6,50	
5,90	24,00	24,00	Arcillas limosas con agua salina
		31,00	
4,30	89,00	89,00	Arcillas limosas
		103,00	
24,00			Limos y arcillas

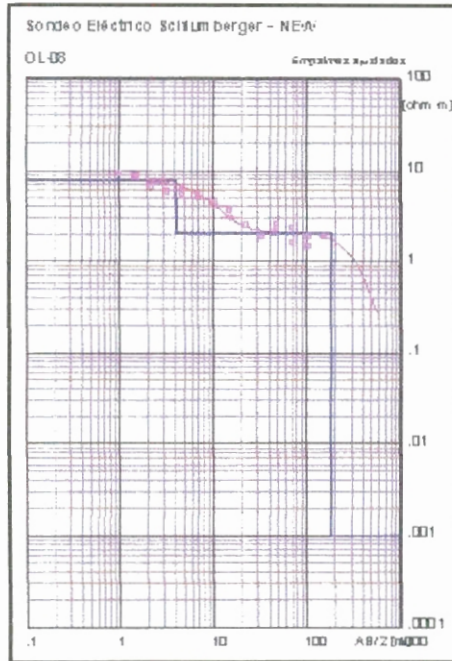
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-07



Resistividad (Ω m) Espesor (m) Profundidad (m) Característica

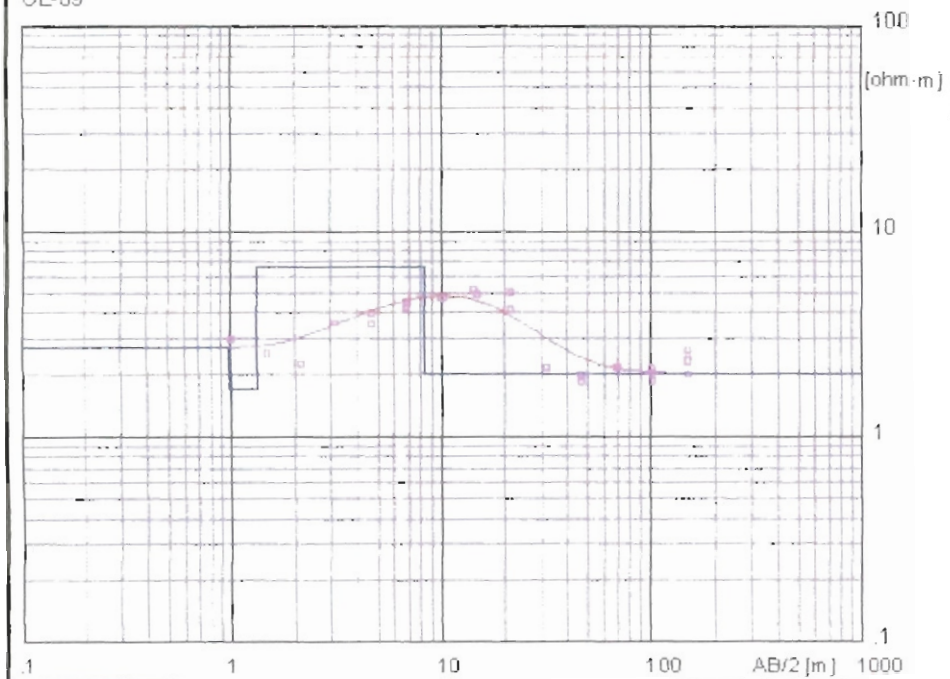
Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
4,40	2,50	2,50	Gravas y arenas finas con limos Arcillas limosas
0,96	2,50	5,00	
1,00	56,00		Limos arcillosos
2,50	26,00	81,00	Arcilla arenosa
4,40		87,00	Gravas y arenas finas con limos



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
3,30	4,10	4,10	Gravas con arenas limosas
2,30	10,00	10,00	Arcillas con arena
0,30	10,00	10,00	Arcillas limosas con salinidad

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

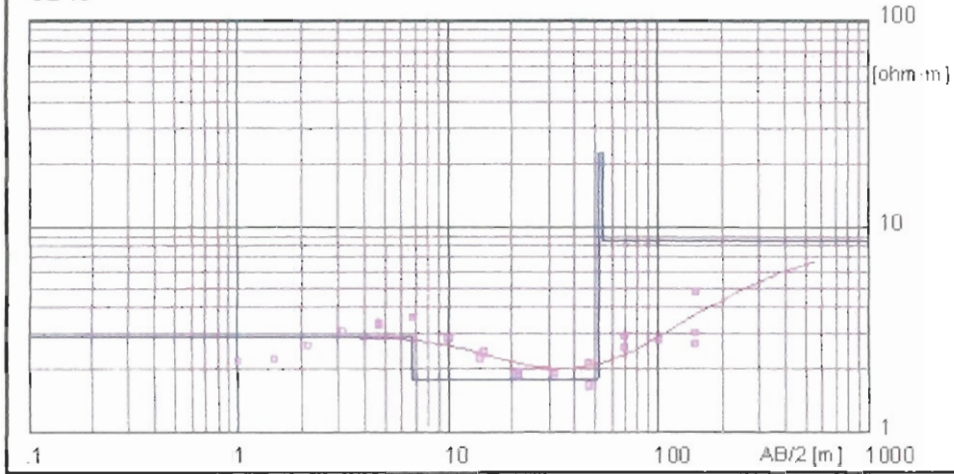
OL-09



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
7,30	0,50	0,50	Arcilla arenosa Limos arcillosos con agua salina
10,00	1,10	1,10	Gravas con arenas finas y limos
2,00		8,40	Arcillas limosas con agua salina

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

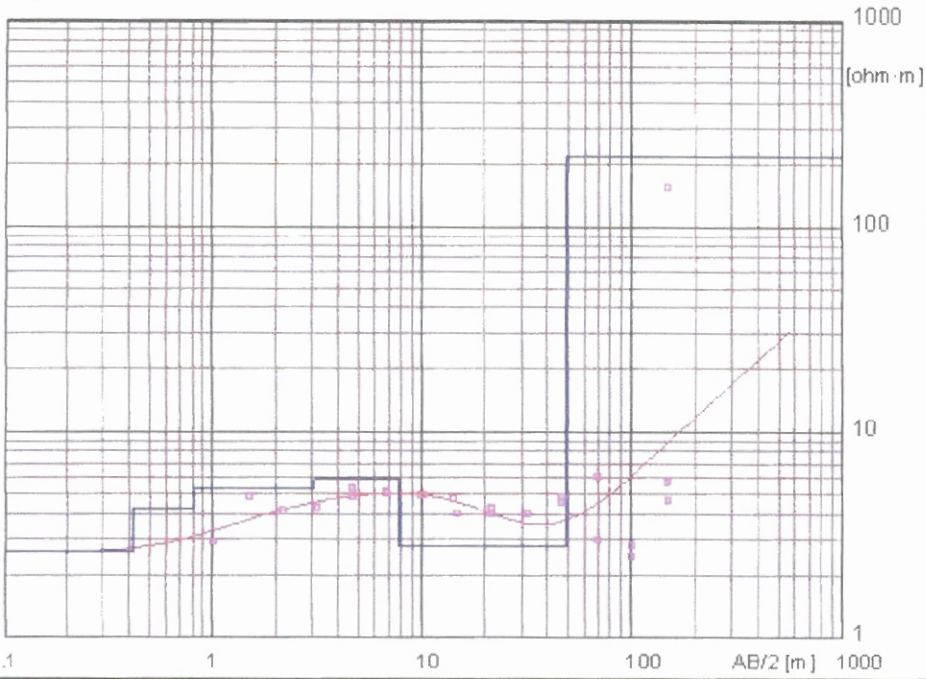
OL-10



Resistividad (Ωm)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
40.0	0	0.0	Arcilla arenosa
10	45.0		Limos arcillosos con agua salina
20.0	1.0	52.00	Limonitas y lutitas con intercalaciones de arcillas
60.0		54.00	Gravas, bolos con arenas limosas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

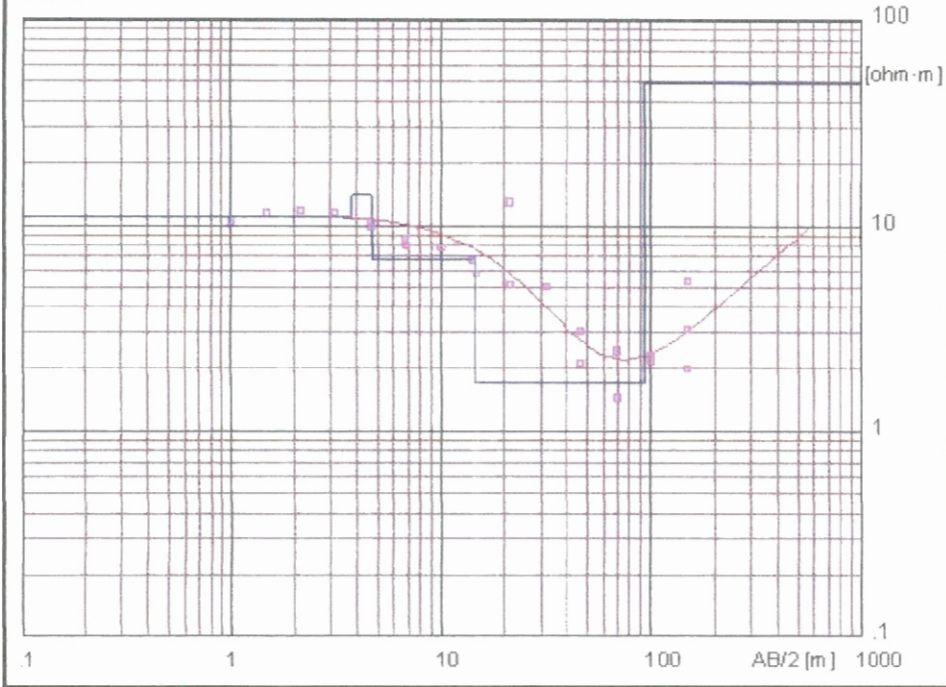
OL-11



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
2,00	0,41	0,41	Arcillas arenosas
4,00	0,39	0,80	Gravas y arenas finas con limos con agua salina
5,00	2,00	2,80	Gravas y arenas gruesas con limos
5,00	4,00	6,80	Gravas y arenas con limos
2,00	41,00		Arcillas arenosas
200,00		49,00	Arenas y gravas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

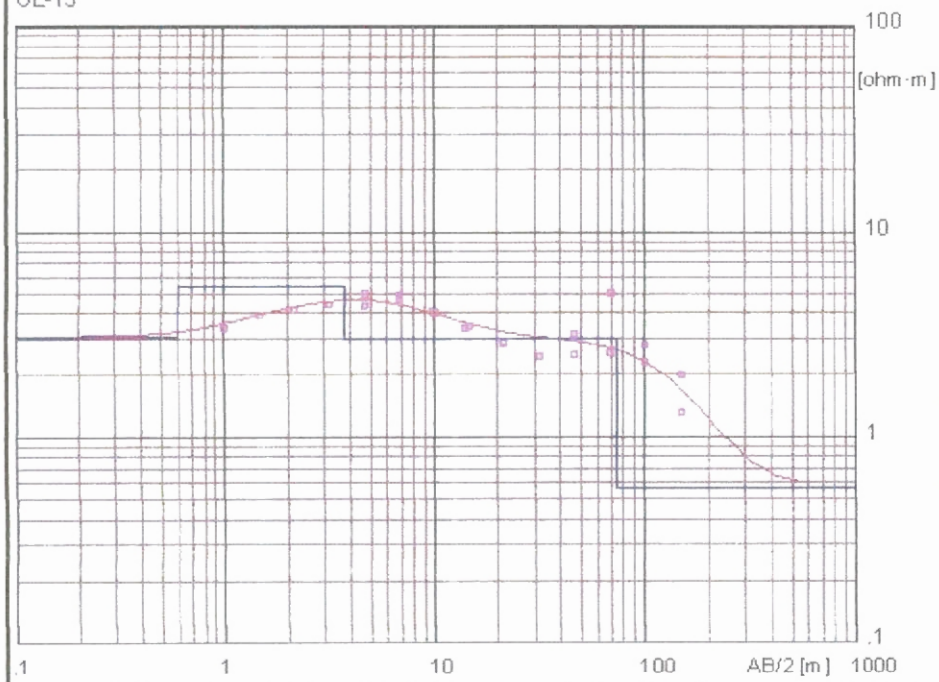
OL-12



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
11,00	3,00	3,00	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
14,00	0,50	4,50	Gravas y arenas arcillosas
6,00	10,00	15,00	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
1,00	69,00		Limo arcilloso
49,00		94,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

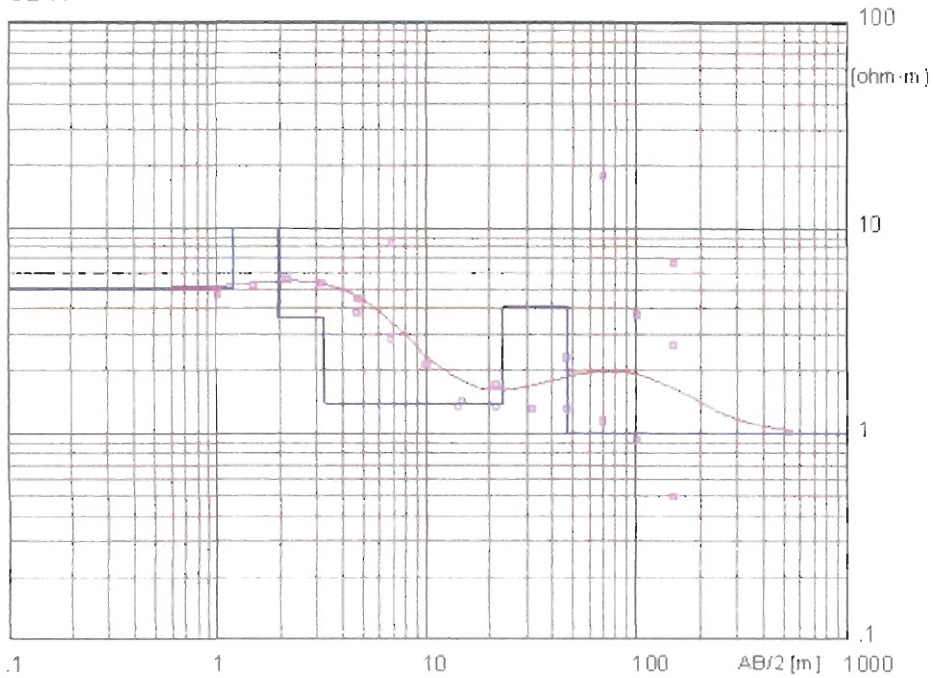
OL-13



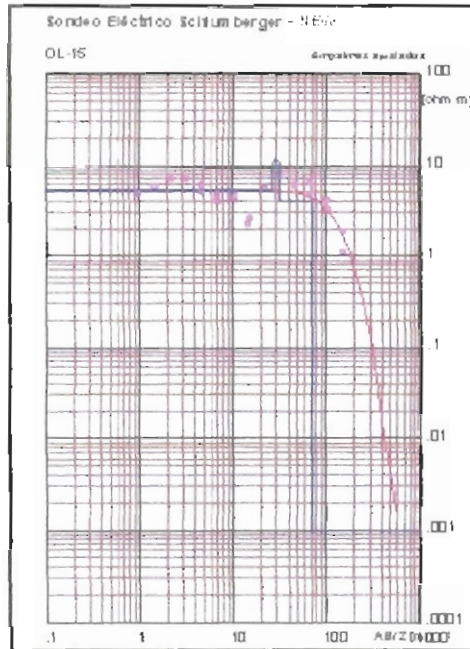
Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
3,10	0,60	0,60	Limos con arenas finas Gravas y arenas gruesas con limos
5,40	3,20	3,80	
3,00	10,00		Limos con arenas finas
0,50		14,00	Arcillas limosas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-14



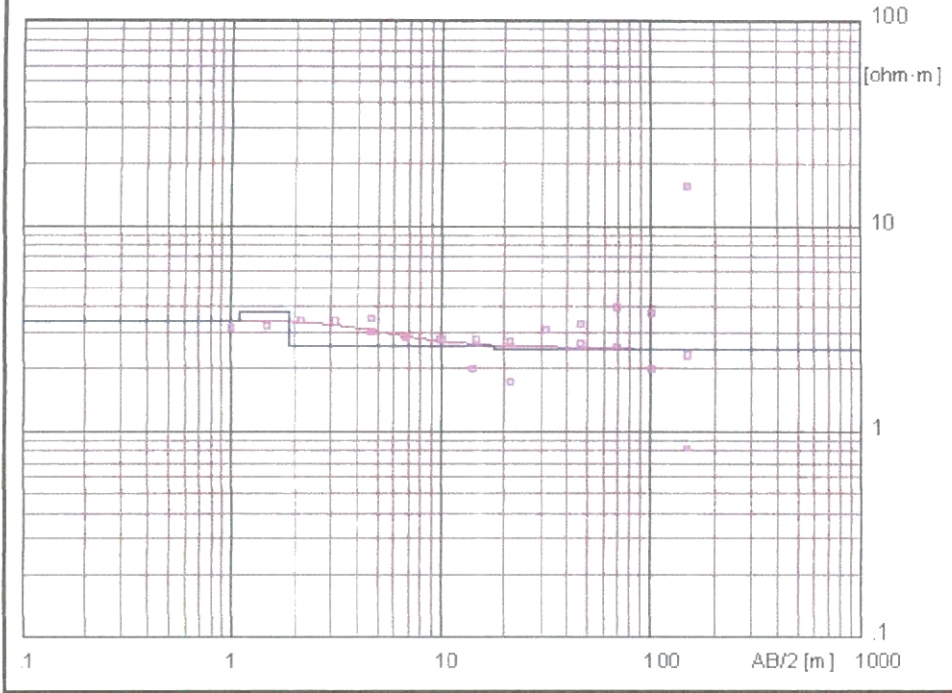
Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
510 300	1.20 0.30	1.20 0.30	Gravas y arenas gruesas con limos Gravas y bolos con arenas limosas Limos con arenas finas
1.50	20.00		Arenillas limosas con agua salina
1.00	24.00	4.00	Arenas finas con limos y arcillas
1.00		1.00	Limos y arcillas



Resistividad (Ωm)	Espeor (m)	Profundidad (m)	Característica
5.00	0.00 - 0.05	0.00 - 0.05	Gravas y arenas gruesas con limos
17.00	0.05 - 0.10	0.05 - 0.10	Gravas, arenas limosas y arenas arcillosas
10.00	0.10 - 0.20	0.10 - 0.20	Arenas finas con limos y arcillas
3.00	0.20 - 0.30	0.20 - 0.30	Arenas limosas con salinidad

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

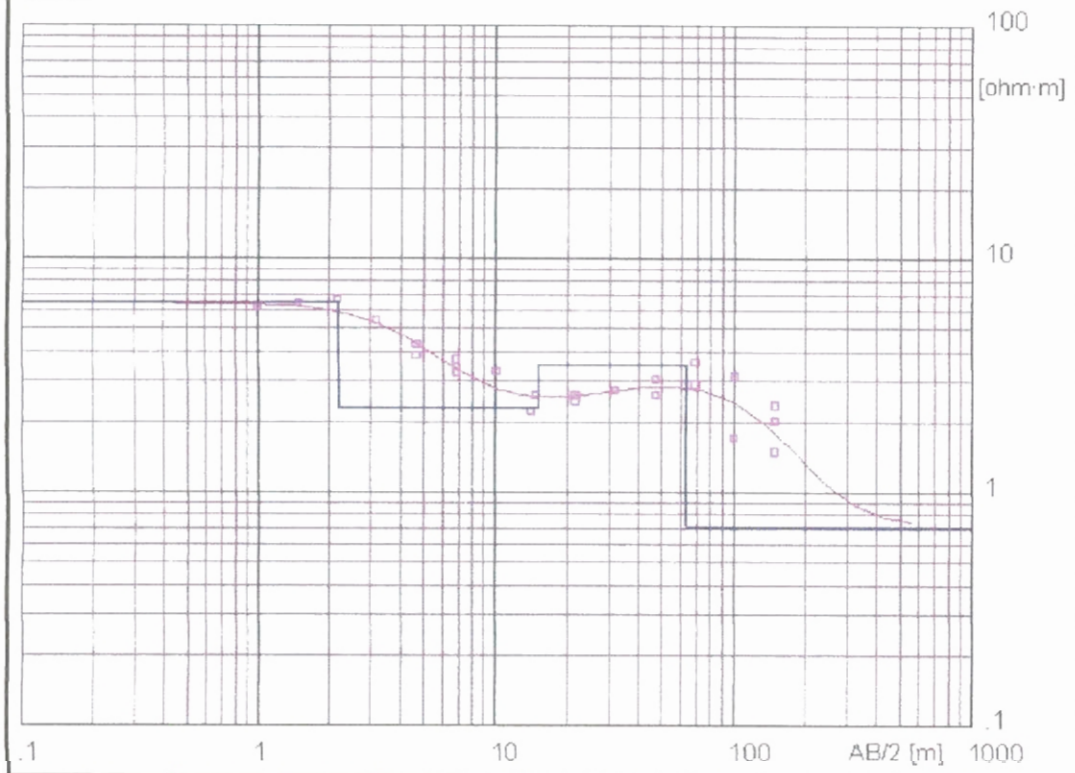
OL-16



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
3,00	1,10	1,10	Limos arcillosos con agua salina
3,00	0,15	1,50	Limos con arenas finas
2,00	16,00		Arcillas arenosas
2,50		13,00	Arcillas arenosas con salinidad

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

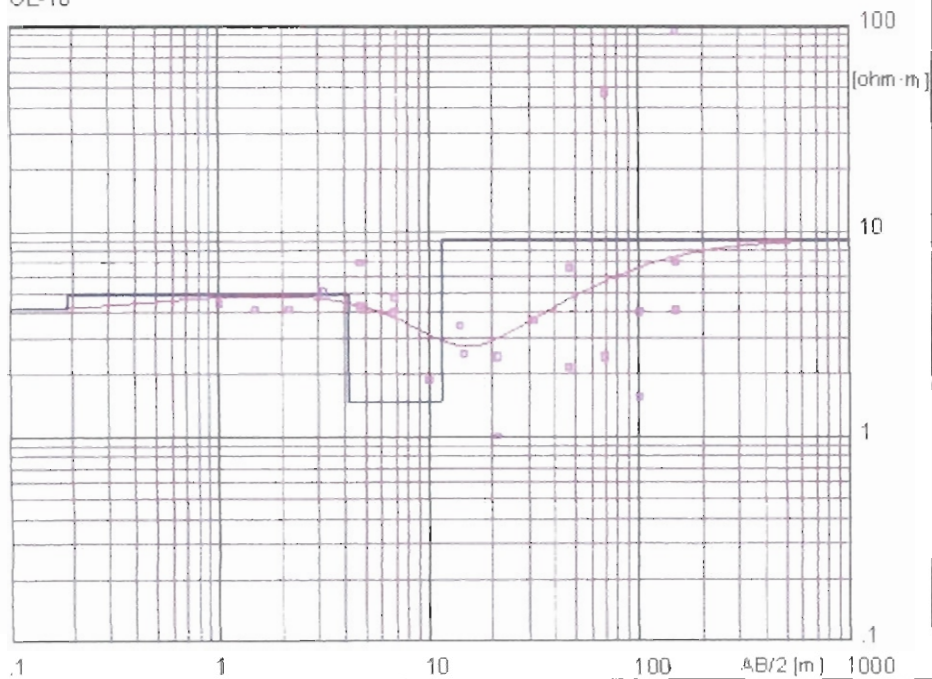
OL-17



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
6.40	2.20	2.20	Gravas, arenas finas en una matriz limosa
2.30	13.00	15.20	Arcillas arenosas
3.50	43.00	88.20	Limos arcillosos
0.71		121.20	Arcillas limosas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

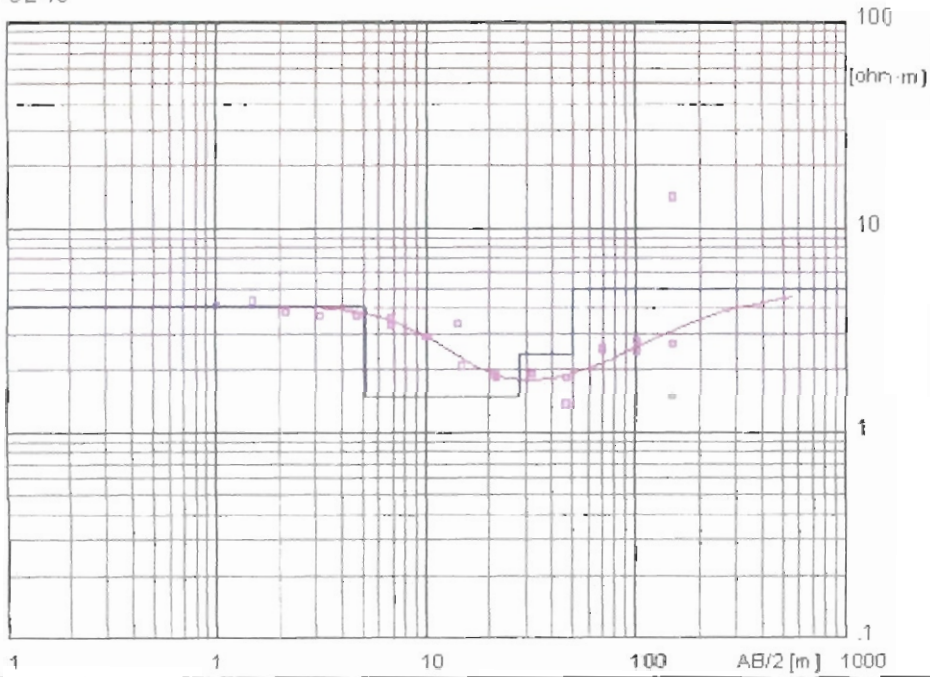
OL-18



Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
10	0,15	0,15	Gravas y arenas finas con limos con agua salina
10	4,00	0,15	Gravas y arenas finas con limos
125	1,5	1,0	Limo arcilloso
10		1,0	Gravas, bolos y arenas limosas

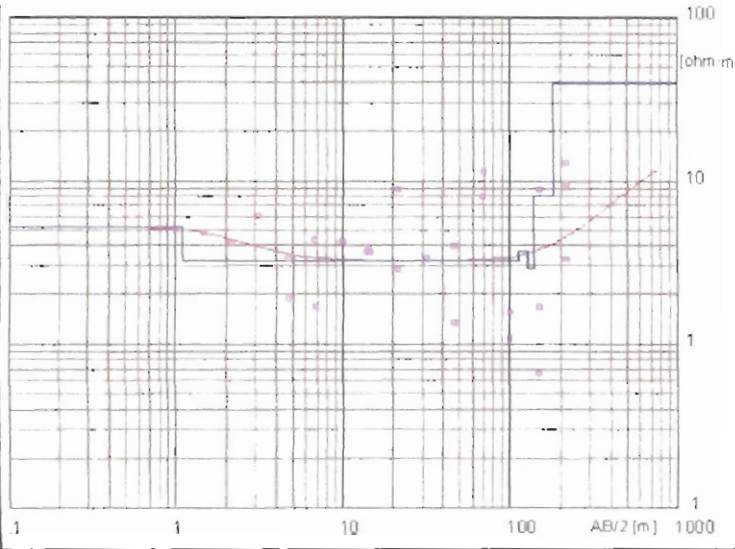
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-19



Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
50.00	5.00	0.00 - 5.00	Gravas y arenas finas con limos con presencia de agua salina
1.00	10.00	5.00 - 15.00	Limo arcilloso
10.00	20.00	15.00 - 35.00	Arcillas arenosas
50.00	10.00	35.00 - 45.00	Gravas y arenas finas con limos

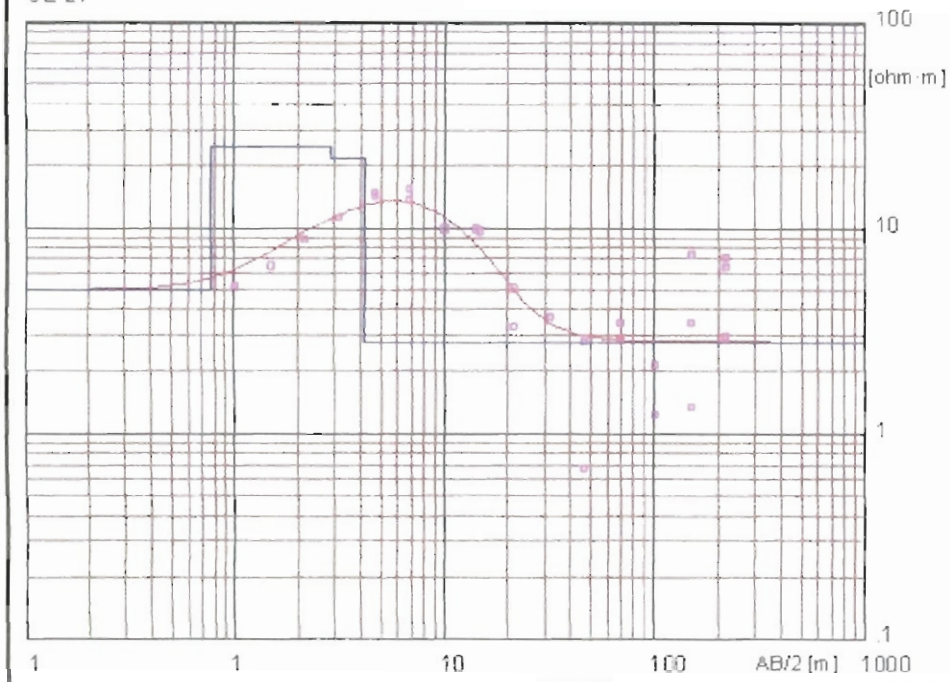
Sondeo Eléctrico Schlumberger NEW



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
100	1,00	1,00	Gravas y arenas gruesas con limos
10	11,00		Limo arenoso con agua salina
1	12,00	112,00	Limos con arenas finas
	13,00	129,00	
	14,00	140,00	Arcillas arenosas
	15,00	150,00	Gravas y bolos con arenas limosas
	16,00	162,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas y arcillas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

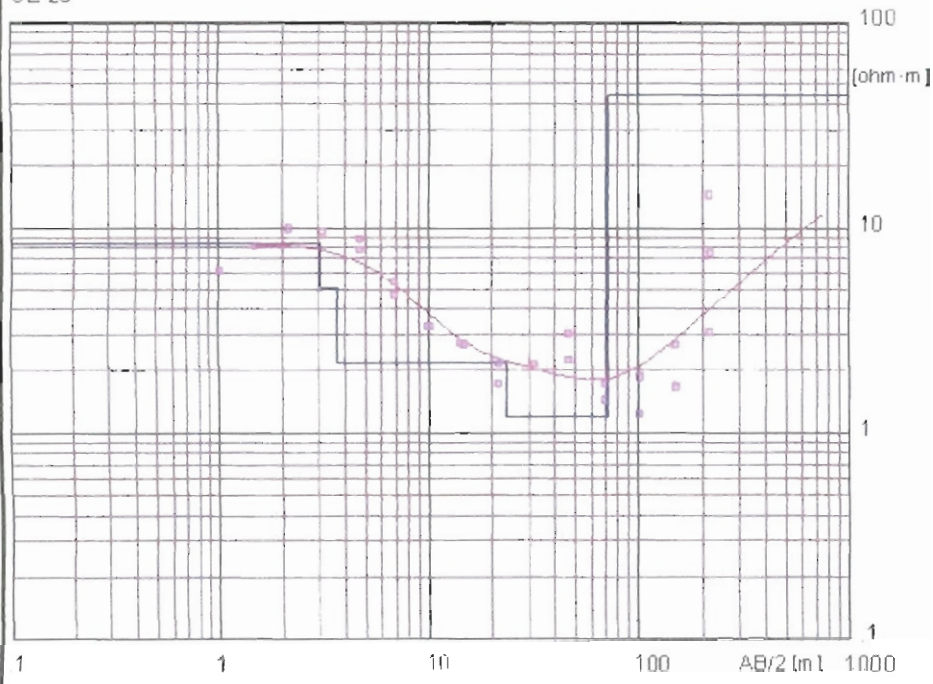
OL-24



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
5.00 25.00 27.00	0.11 2.18 1.30	0.00 2.50 4.20	Arenas con gravas y limos Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas
2.80			Arcillas arenosas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

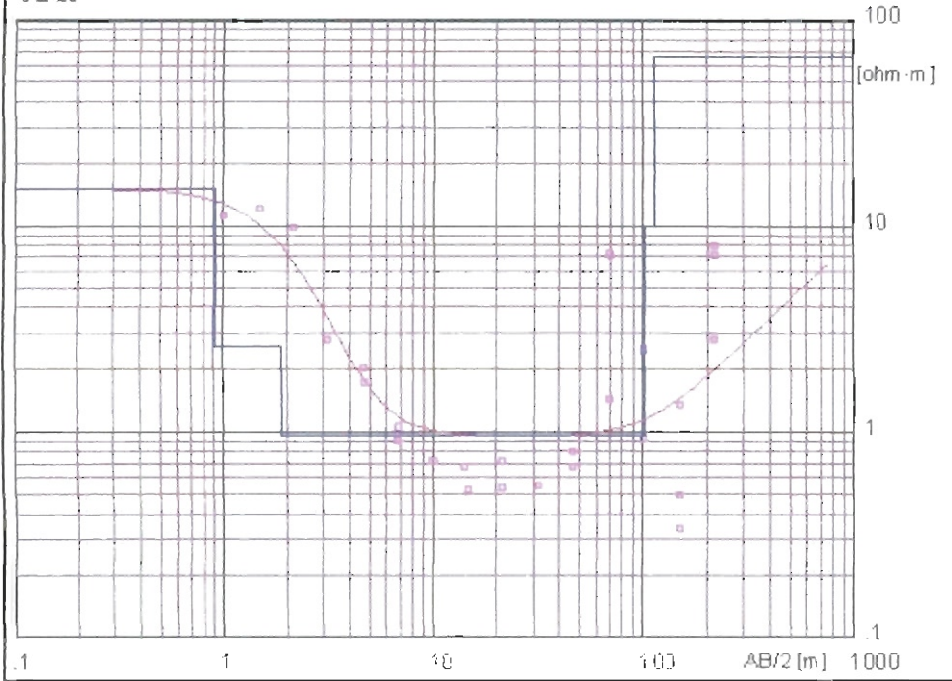
OL-25



Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
0,40 5,10	3,00 0,60	3,00 3,60	Gravas y bolos con arenas limosas Arenas con gravas y limos
2,00	20,00	24,00	Arcillas arenosas
3,00	27,00		Limos arcillosos
1,00		31,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas y limos

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

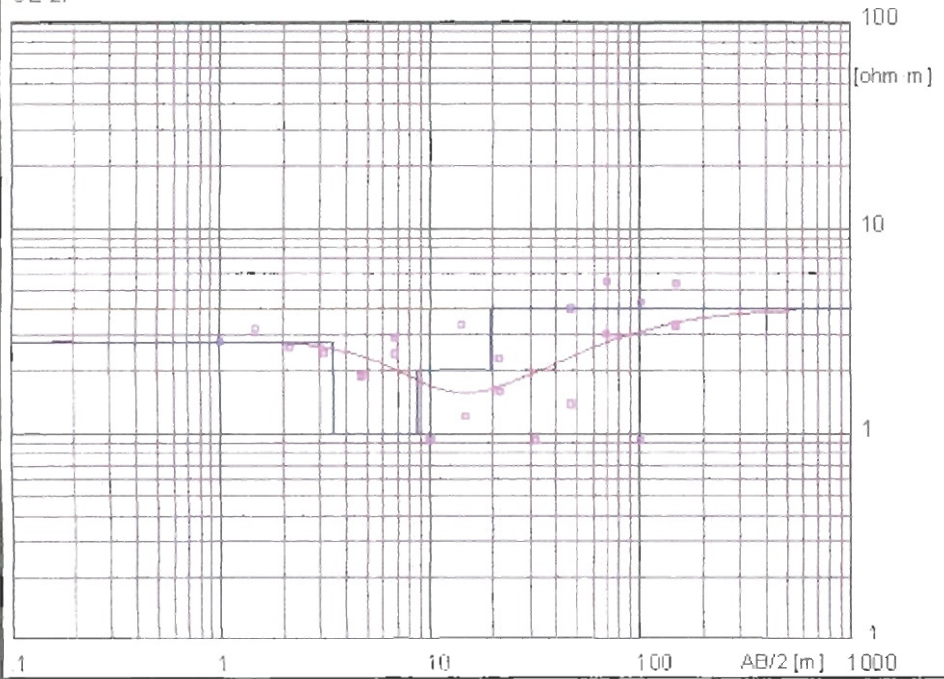
OL-26



Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
15.00 2.00	0.50 0.50	0.50 1.00	Gravas y arenas arcillosas Arcillas arenosas
0.50	11.50	11.50	Limo arcilloso con agua salina
10.00 1.00	0.50 0.50	12.00 12.50	Gravas, bolos y arenas limosas Limolitas y lutitas con intercalaciones de arcillas y limos

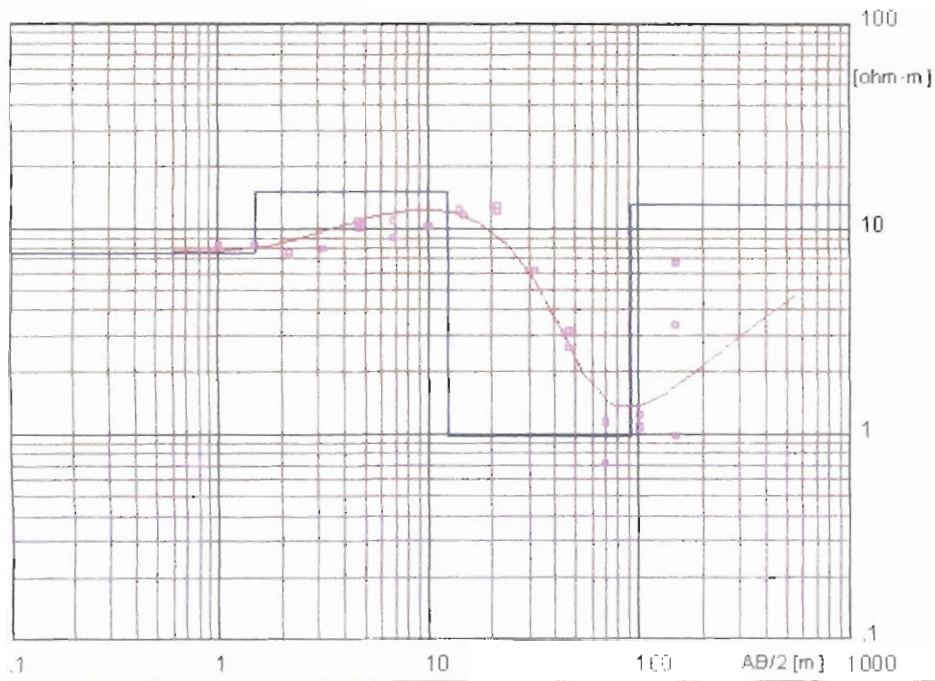
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-27

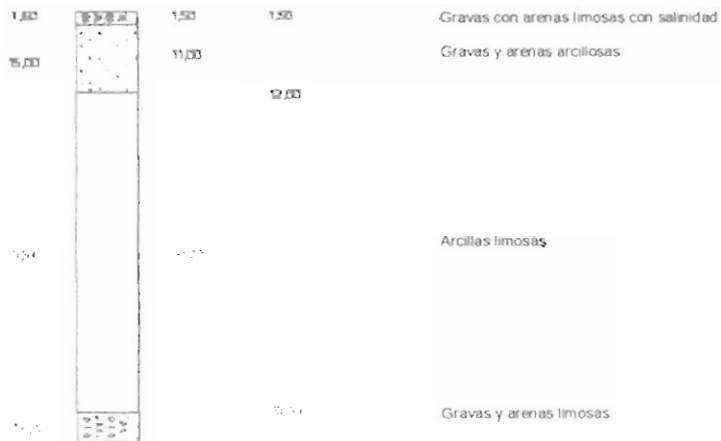


Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
7.00	3.50	0.0	Arcillas arenosas
1.00	5.20	3.5	Limos y arcillas
0.00	1.00	8.7	Arcillas arenosas con salinidad
0.00	20.00	20.0	Gravas y arenas finas con limos con presencia de agua salina

Sondeo Eléctrico Schlumberger

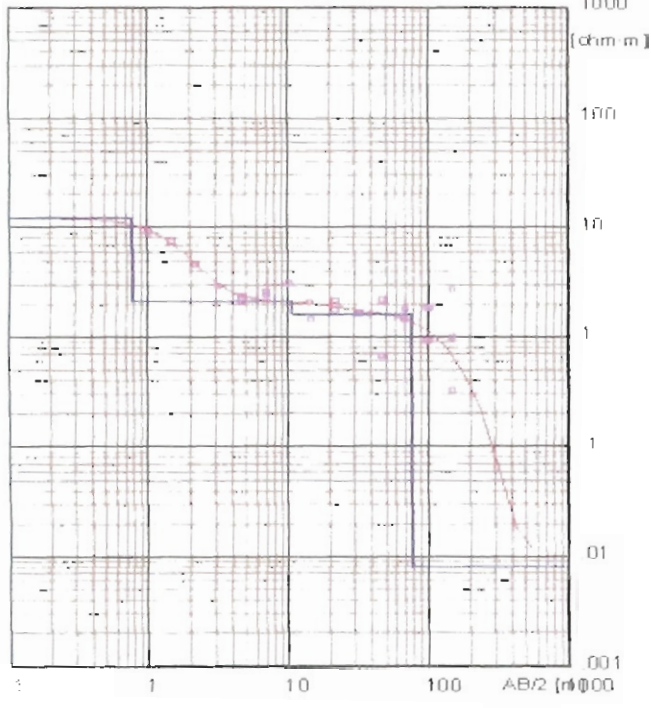


Resistividad (Ω m) Espesor (m) Profundidad (m) Característica



Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

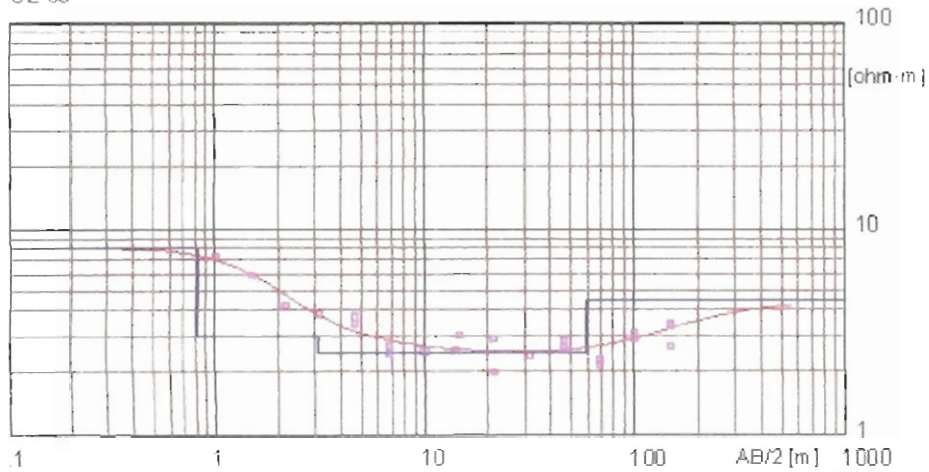
OL-29



Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
1000	0.5	0.5	Gravas y arenas limosas
432.1	1.0	1.0	Arcillas arenosas
	1.5	1.5	
	2.0	2.0	
	2.5	2.5	Limo arcilloso
	3.0	3.0	
	3.5	3.5	
	4.0	4.0	
	4.5	4.5	
	5.0	5.0	
	5.5	5.5	
	6.0	6.0	
	6.5	6.5	
	7.0	7.0	
	7.5	7.5	
	8.0	8.0	
	8.5	8.5	
	9.0	9.0	
	9.5	9.5	
	10.0	10.0	Arcillas limosas con agua salina

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-30

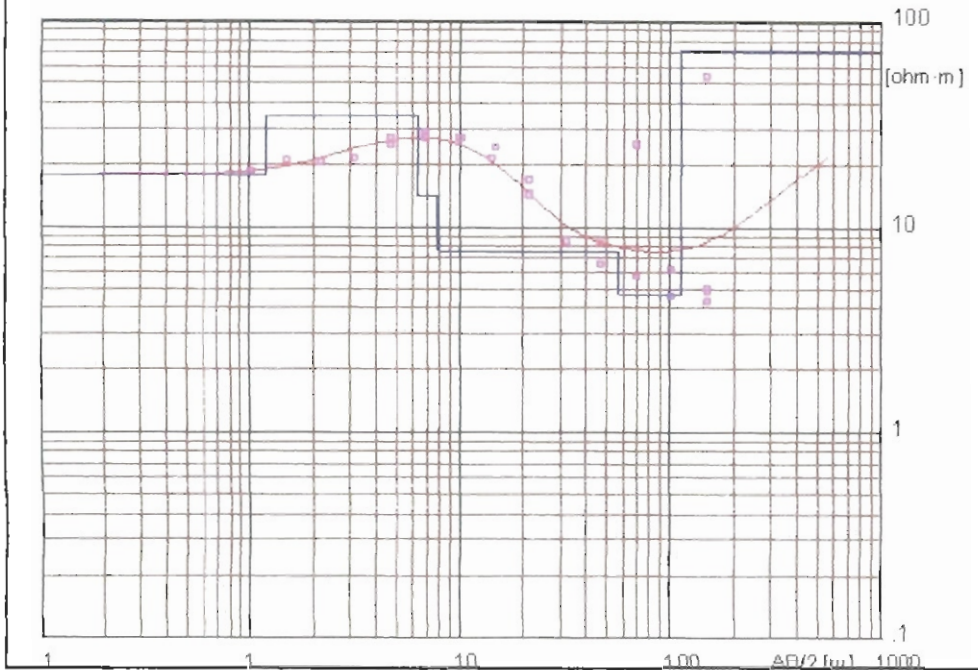


Resistividad (Ωm) Espesor (m) Profundidad (m) Característica

Resistividad (Ωm)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
8.00 3.00	0.80 2.00	0.80 3.00	Gravas y arenas limosas Limo arcilloso
4.00	5.00	3.00	Arcillas arenosas con agua salina

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-31

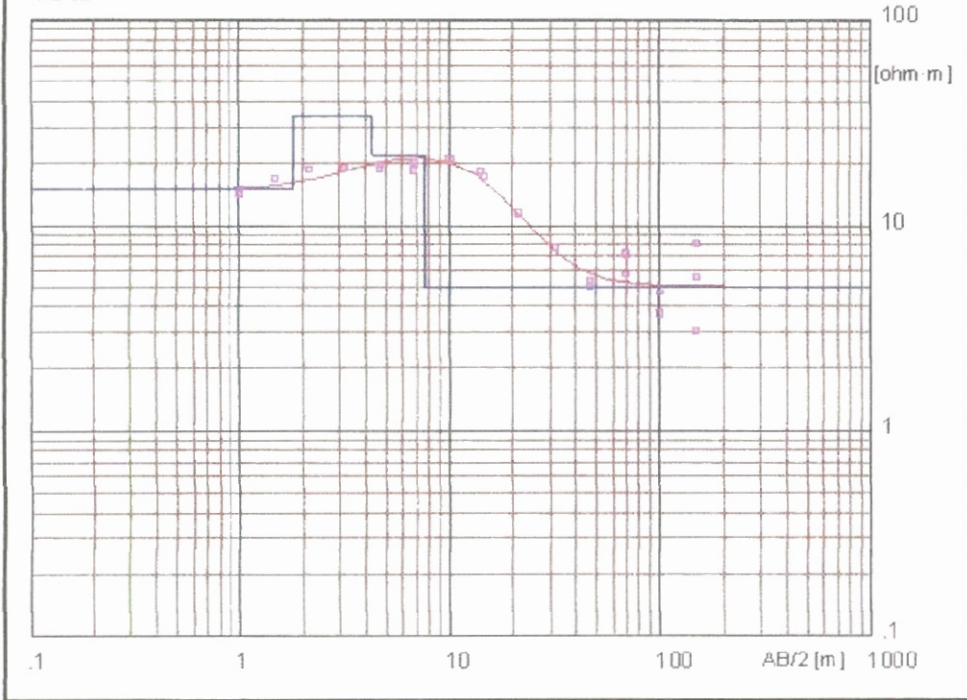



Resistividad (Ω m) Espesor (m) Profundidad (m) Característica

Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
18.00	1.20	0.00	Gravas y bolos con arenas arcillosas Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos Gravas y bolos con arenas limosas
35.00	5.10	1.20	
54.00	1.80	5.10	
			Gravas y arenas limosas
4.80	59.20	59.20	Arenas con gravas y limos
4.70	56.20	59.20	
72.00		71.30	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos y arcillas

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

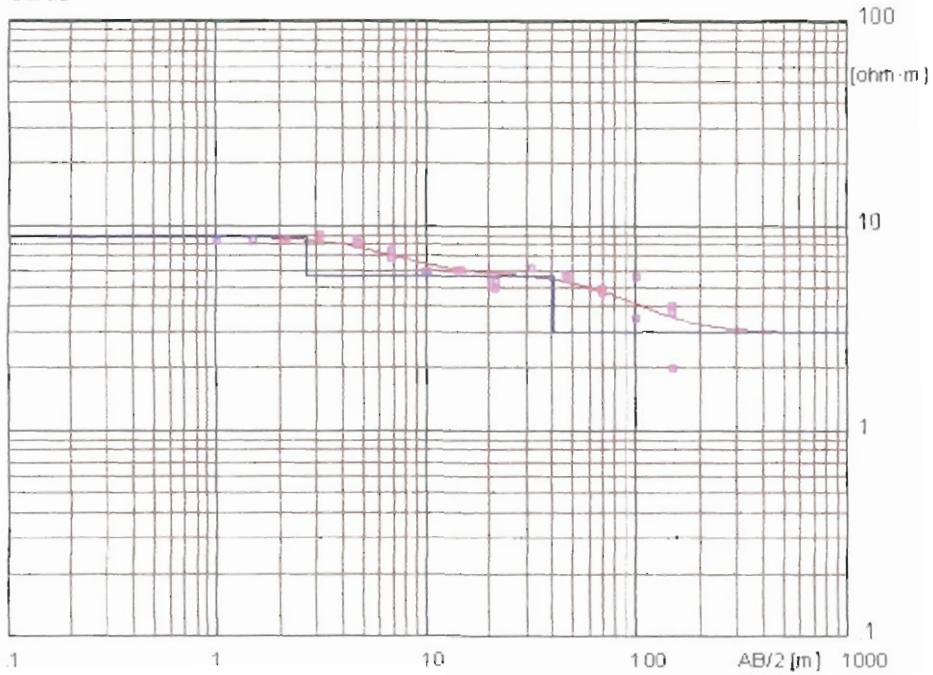
OL-32



Resistividad (Ω m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
15,00	1,00	1,00	Gravas y bolos con arenas limosas Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos con salinidad
34,00	2,50	4,00	
22,00	3,00	7,00	
5,00			Arenas con gravas y limos

Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-33

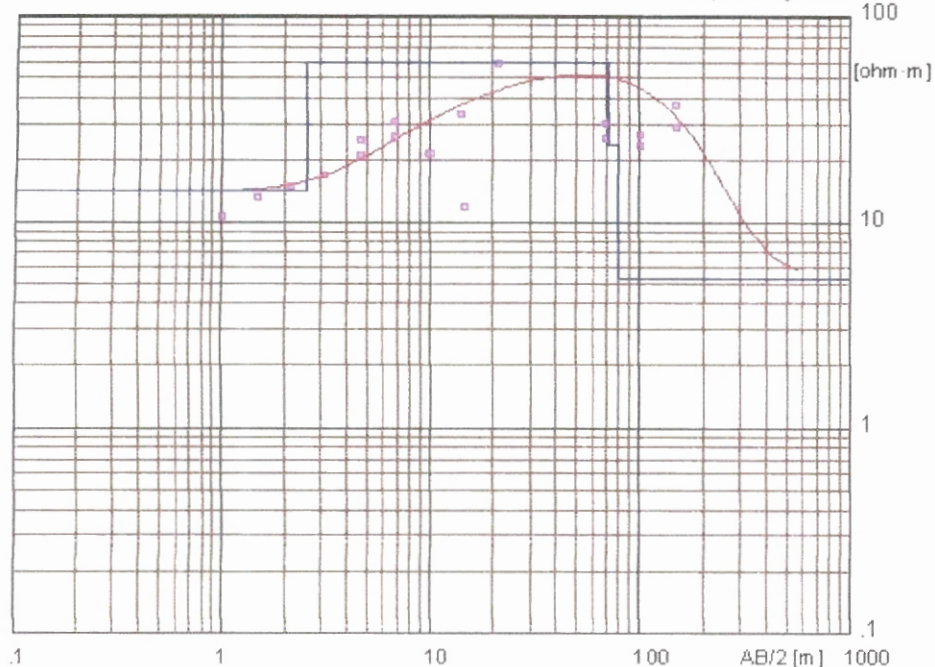


Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Característica
200	0.5	1.1	Gravas y arenas limosas
10	2.0	1.1	Gravas y arenas gruesas con limos
1	1.0	1.1	Limos con arenas finas

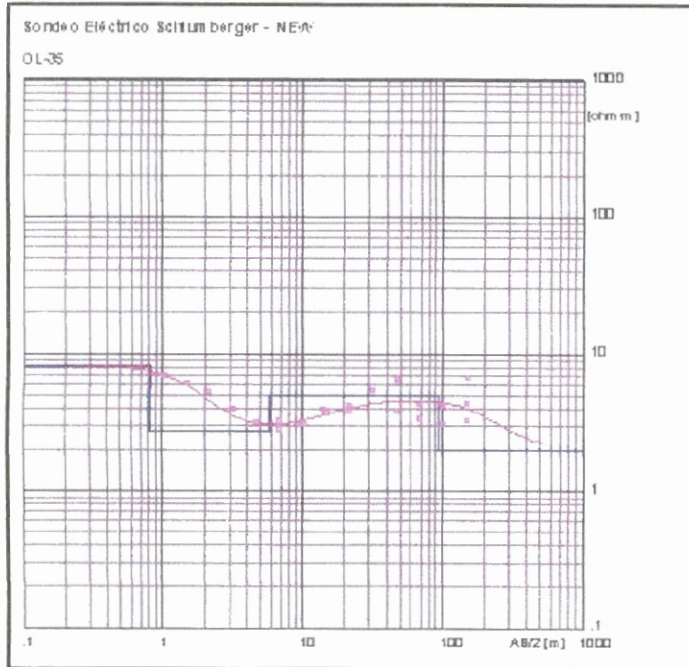
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-34

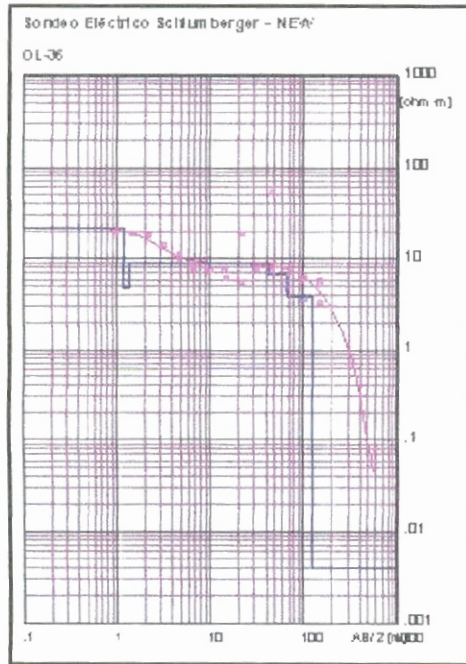
Empalmes ajustados



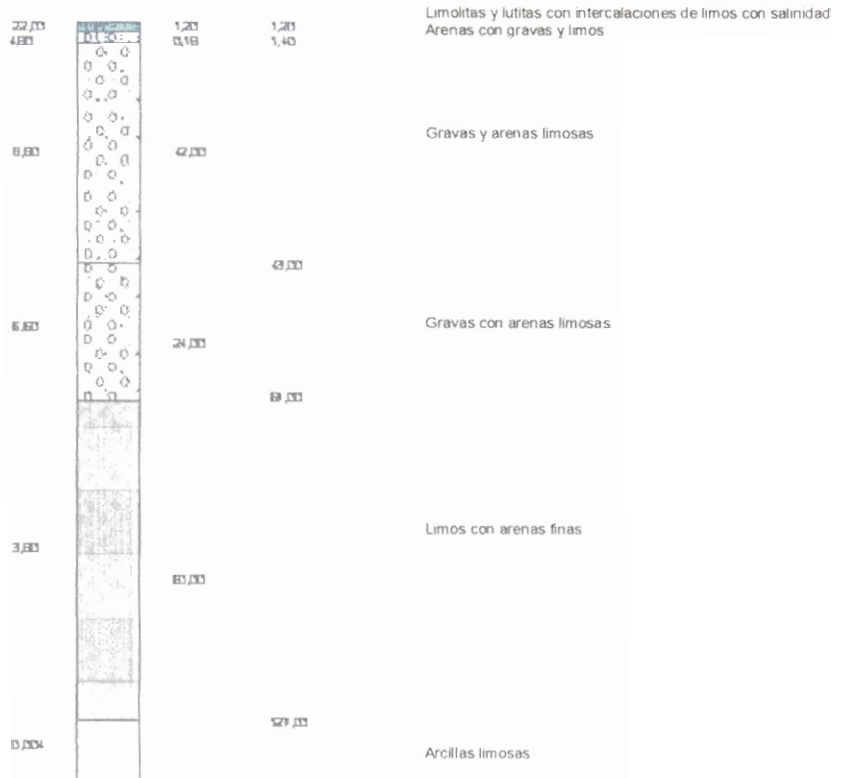
Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
14,00	2,00	2,00	Gravas y bolos con arenas limosas
80,00	10,00	11,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos y arcillas
24,00	5,00	16,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de limos con salinidad
5,00		21,00	Arenas con gravas y limos



Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
8,13	0,02	0,02	Gravas con arenas limosas Arcillas arenosas
2,711	5,00	5,00	
4,50	69,00		Arenas con gravas y limos
0,84		95,00	Arcillas arenosas con salinidad



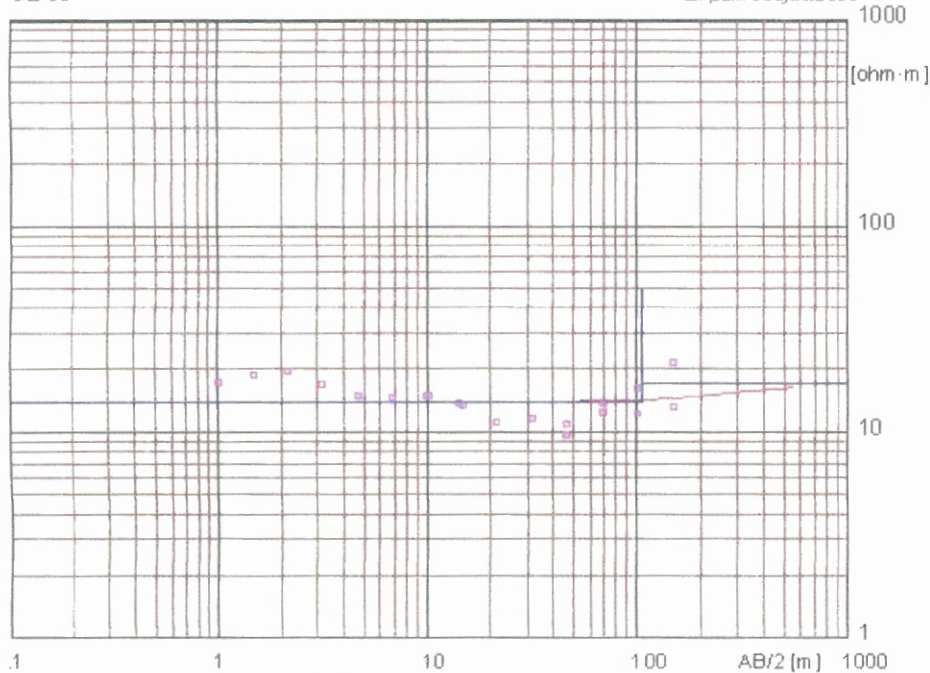
Resistividad (Ω m) Espesor (m) Profundidad (m) Característica



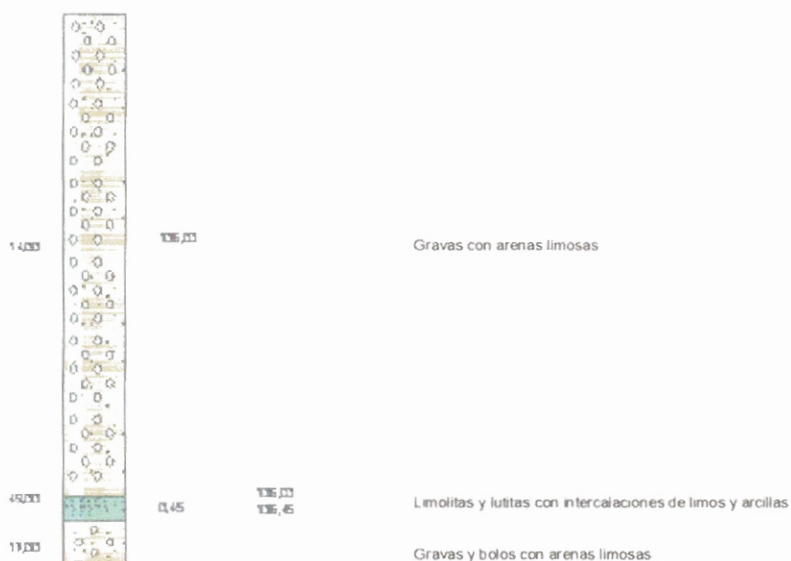
Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-38

En pares ajustados

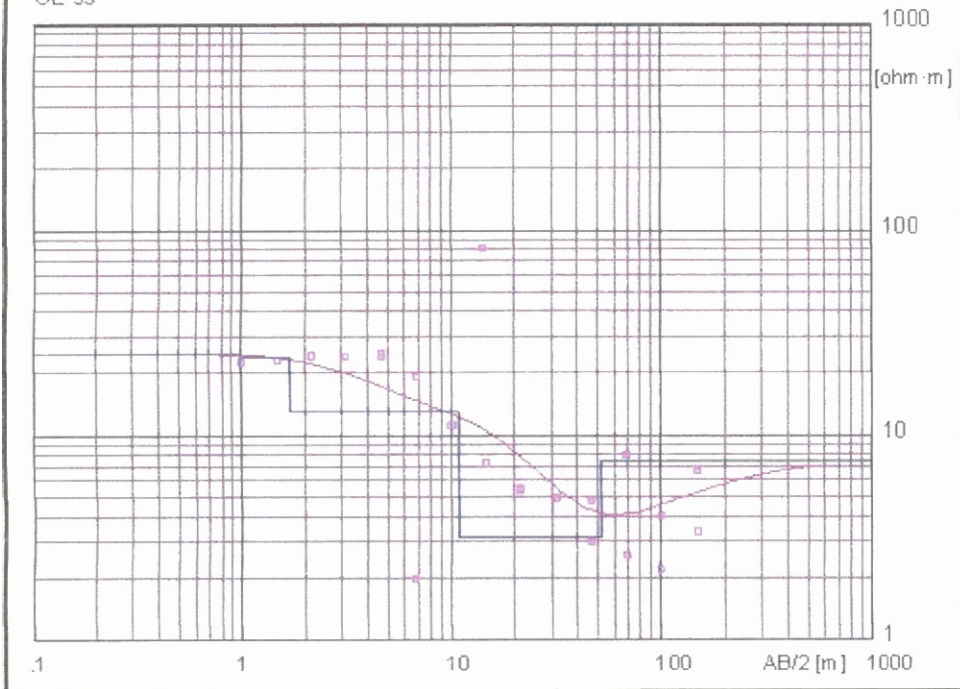


Resistividad (Ω m) Espesor (m) Profundidad (m) Característica



Sondeo Eléctrico Schlumberger - NEW

OL-39

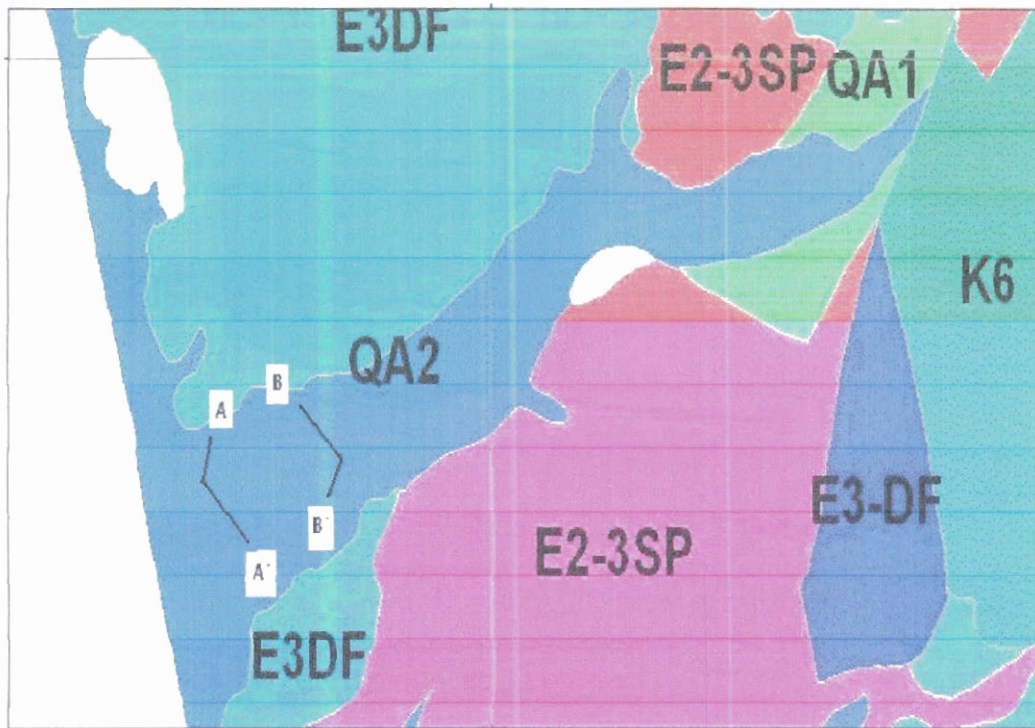


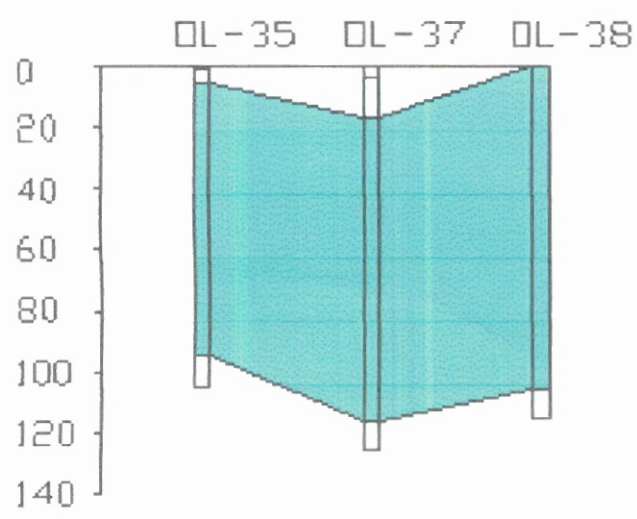
Resistividad (Ω m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	Característica
25,00	1,00	1,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas
24,00	0,72	1,70	
13,00	3,10	11,00	Limolitas y lutitas con intercalaciones de areniscas con salinidad
			Gravas con arenas limosas
3,20	41,00		Limos con arenas finas
1,50		12,00	Gravas con arenas limosas

ANEXO 2

Cortes Geoelectrónicos

Hoja Geologica Olon - Delicias





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

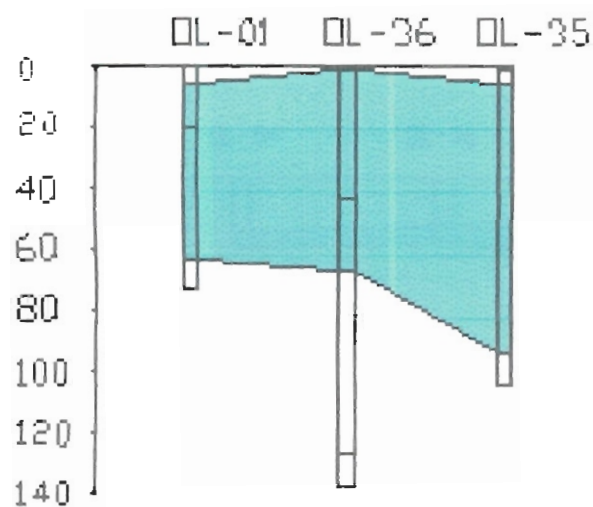
TÍTULO: CORTE GEOLÉCTRICO A-A'

Realizado por: Javier Montalvón

Fecha: 05-Marzo-2008

Legenda:
 color de arena
 color de





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

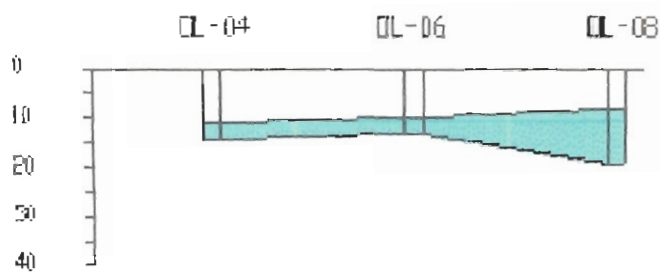
TÍTULO CORTE GEOELECTRICO B-B'

Realizado por: Javier Nardalyón

Universidad
del Valle del Cauca
2008

Fecha: 15-Marzo-2008





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO: NIVEL PIEZOMÉTRICO

Realizado por: Javier Montalván

Leyenda:
Estrato de interés
acuifero

Fecha: 05-Marzo-2008

