

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.

Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche.

TESIS DE GRADO.

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS.

Presentada por:

Paola Leonor Romero Crespo.

GUAYAQUIL-ECUADOR.

Año: 2002.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco de manera especial al Director de Tesis por sus enseñanzas como maestro y consejos como amigo.

A todos mis compañeros y personas que me ayudaron en el desarrollo y culminación de este trabajo.

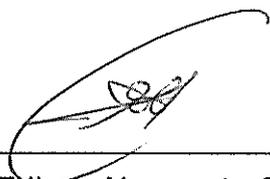
A mis maestros que colaboraron en mi formación muy especialmente al Ing. Jorge Velasco, Ing. Fernando Morante, Ing. Jorge Calle y Dra. Elizabeth Peña.

A mi familia y en especial a mi hermana por su amor y por su confianza en todos los momentos de mi vida.

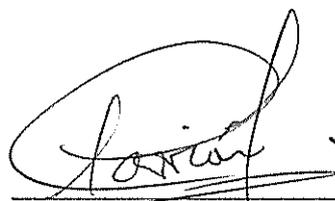
DEDICATORIA.

A MI FAMILIA.
A MIS ABUELOS.
A MIS MAESTROS.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.



Ing. Edison Navarrete C.
DECANO DE LA FICT.



Dr. Paúl Carrión M.
DIRECTOR DE TESIS.



Ing. Fernando Morante.
VOCAL.



Ing. Jorge Velasco.
VOCAL.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

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).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A handwritten signature in black ink, which appears to read "Paola Leonor Romero Crespo", is written over a horizontal line.

Paola Leonor Romero Crespo.

RESUMEN.

La tesis “Estudio geoelectrico y Planeamiento de explotación de aguas subterráneas en el sector de Santa Elena-Atahualpa-Ancón y Pechiche”, comprende una caracterización geoelectrica en el sector limitado por las poblaciones mencionadas en el tema, basándose en la información geológica y estudios relacionados en el sector, para plantear un mejor y mayor aprovechamiento de las aguas subterráneas, en pos de aportar al desarrollo agrícola y atender los servicios básicos de consumo a un precio de mejores condiciones para los más necesitados.

Además de la realización de 53 sondeos eléctricos verticales (SEV), se realizaron varias constataciones geológicas, por medio de calicatas en las zonas de interés, que correlacionada a la fotointerpretación de las subcuencas de drenaje y los análisis físico-químicos de algunas muestras de agua en el sector, ayudan a establecer una zona preferencial de aprovechamiento del recurso agua. Todos los datos de estos apartados constan en el trabajo y pueden ser revisados y analizados.

Dadas las posibilidades en la mejor zona por deducción de los resultados del estudio y con las mejores condiciones asociadas de logística y de estrategia de desarrollo, se realizó un pozo de agua para servicio de un Proyecto de Desarrollo Agrícola que lleva la ESPOL, en Pechiche, obteniéndose un caudal comprobado de 6 l/s. Más allá del diseño y construcción del pozo de forma económica, se establece unos principios metodológicos para abordar el problema con expectativas certeras de gestión integrada considerando la posibilidad de manejo conjunto de albarradas y pozos de agua. El trabajo se constituye en un paso adelante en el conocimiento y tratamiento de las investigaciones para asegurar la gestión óptima del recurso agua en un polo de desarrollo, como lo es la Península de Santa Elena.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.

ÍNDICE GENERAL.

ABREVIATURAS.

ÍNDICE DE FIGURAS.

ÍNDICE DE TABLAS.

ÍNDICE DE MAPAS.

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I.

I. ANTECEDENTES	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Área de estudio.....	6
1.3 Estudios anteriores.....	7
1.4 Descripción general de la metodología a aplicarse para el estudio	9
1.5 Objetivos.....	11

CAPÍTULO II.

BASE TEÓRICA.....	12
2.1 Conceptos básicos de Hidrogeología	13
2.1.1 El Ciclo Hidrológico	13
2.1.2 El agua del subsuelo.....	15
2.1.3 Descarga del agua subterránea	18
2.1.4 Los acuíferos y sus propiedades.....	19
2.2 Prospección Geoeléctrica.....	23
2.2.1 Métodos Geoeléctricos de Prospección.....	23
2.2.2 Método de Resistividades	26
2.2.3 Teoría del Sondeo Eléctrico Vertical	30
2.2.3.1 Definición	30
2.2.3.2 Generalidades.....	30
2.2.3.3 Trabajo de Campo	34
2.2.3.4 La Interpretación	38
2.3 Criterios de Gestión Conjunta.....	46

CAPÍTULO III.

III INFORMACIÓN	47
3.1 Situación Geográfica	48
3.2 Geomorfología	51
3.3 Red Hidrográfica	52
3.4 Geología	55
3.4.1 Estratigrafía	57
3.4.2 Estructuras	62
3.5 Investigación Climatológica	63

3.5.1 Precipitación	63
3.5.2 Evaporación-transpiración.....	63
3.5.3 Temperatura	65
3.5.4 Humedad	65
3.6 Investigación Hidrogeológica.....	65
3.6.1 Factor de Formación	68
3.6.2 Porosidad y Permeabilidad	69
3.6.3 Coeficiente de almacenamiento	69
3.6.4 Transmisividad	70
3.6.5 Permeabilidad	71
3.6.6 Caudal de explotación.....	72

CAPÍTULO IV.

IV TRABAJO DE CAMPO	73
4.1 Comprobaciones de campo.....	75
4.2 Inventario de pozos en la zona de interés	84
4.3 Inventario de Albarradas	96
4.4 Sondeos Eléctricos Verticales	99
4.5 Toma de muestras de agua de pozos	106
4.6 Ubicación de Zonas de acumulación y/o explotación	107
4.7 Prueba de bombeo en la zona más favorable	108

CAPÍTULO V.

V TRABAJO DE OFICINA.....	112
5.1 Fotogeología y fotointerpretación de la zona.....	113

5.2 Reconocimiento geológico y selección de los sitios probables para la realización de los sondeos eléctricos	115
5.3 Procesamiento de datos de Sondeos Eléctricos Verticales.....	120
5.4 Procesamiento de datos de la Prueba de pozo.....	131
5.5 Determinación de la superficie Piezométrica.....	133
5.6 Dirección del flujo.....	135
5.7 Potencial del acuífero.....	138

CAPÍTULO VI.

VI INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS.....	141
6.1 Calidad de agua	142
6.2 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV).....	154
6.3 Prueba de Pozo.....	159
6.4 Interpretación conjunta	161
6.5 Usos potenciales del agua en la zona	166
6.5.1 Agricultura.....	167
6.5.2 Usos Pecuarios, Avícolas y Camaroneros	168
6.5.3 Reforestación.....	169
6.5.4 Abastecimiento de agua potable en las áreas rurales.....	169
6.6 Consideraciones económicas para la construcción de un pozo.....	170

CAPÍTULO VII.

VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
7.1 Conclusiones.....	174
7.2 Recomendaciones.....	181

CAPÍTULO VIII.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	183
-------------------------	-----

CAPÍTULO IX.

IX ANEXOS.....	188
----------------	-----

9.1. Columnas geoelectricas de Sta. Elena, Ancón y Atahualpa.....	189
---	-----

9.2. Interpretaciones con el Programa WINSEV en la Hacienda ESPOL-Pechiche.....	218
---	-----

9.3. Interpretaciones con el Programa PISE 4 en la Hacienda ESPOL-Pechiche y Museo Real Alto.....	235
---	-----

9.4. Cortes geoelectricos.....	261
--------------------------------	-----

ABREVIATURAS.

°C	Grados centígrados.
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
ΔV	Variación de voltaje.
HP	Caballos de fuerza.
K	Permeabilidad.
l/s	Litros por segundos.
m ² / día	Metros cuadrados por día.
m ³ / día	Metros cúbicos por día.
mm	Milímetros.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
Ω m	Ohmio por metro.
S	Sondeo.
SEV	Sondeo eléctrico vertical.
T	Transmisividad.
Q	Caudal.
ρ	Resistividad.
ρ_a	Resistividad aparente.

ÍNDICE DE FOTOS.

	Pag.
Foto 1. Conglomerado calcáreo con microfósiles.....	76
Foto 2. Conglomerado calcáreo con megafósiles.....	76
Foto 3. Realización de la Columna geológica en Pechiche, cerca del manantial.....	77
Foto 4. Afloramiento de coquina.....	77
Foto 5. Manantial 1, ubicado en Prosperidad	79
Foto 6. Abastecimiento de agua con pozo en Pechiche.....	86
Foto 7. Junta de agua Potable Unión y Progreso en Pechiche.....	86
Foto 8. Pozo con bomba manual ubicado en Atahualpa.	87
Foto 9. Pozo ubicado en Atahualpa, para abastecimiento de ganado.....	87
Foto 10. Reservorio de agua ubicado muy cercano al río, para abastecimiento personal.....	88
Foto 11. Tanque elevado para almacenamiento de la Junta de Agua Potable de Simón Bolívar.....	88
Foto 12. Sistema de cloración usado en las Juntas de agua Potable.....	89
Foto 13. Tanque de almacenamiento empleado en comunidades más pequeñas.....	89
Foto 14. Albarrada ubicada en Prosperidad.	96
Foto 15. Realización de la Prospección Geoeléctrica.....	102
Foto 16. Toma de muestra de agua en el pozo del Proyecto de la ESPOL en Pechiche.	107
Foto 17. Prueba de bombeo realizada en el Proyecto de la ESPOL en Pechiche	109

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pag.
Tabla 1. Tipos de acuíferos.....	21
Tabla 2. Caracterización de los acuíferos.....	22
Tabla 3. Clasificación de los Métodos Geoeléctricos.	26
Tabla 4. Clasificación de los SEV según AB.....	37
Tabla 5. Valores Frecuentes de Resistividad para Rocas sedimentarias.....	41
Tabla 6. Clasificación estimativa par diferentes valores de transmisividad...71	
Tabla 7. Clasificación estimativa para diferentes valores de permeabilidad..72	
Tabla	8.
	U
bicación de afloramientos.....	75
Tabla 9. Ubicación de los manantiales.....	78
Tabla 10. Inventario de pozos.....	90
Tabla 11. Inventario de pozos por el INERHI.....	91
Tabla 12. Inventario de albarradas.....	97
Tabla 13. Coordenadas de sondeos Sta. Elena y Atahualpa	104
Tabla 14. Coordenadas de sondeos en la Hacienda ESPOL- PECHICHE..	105
Tabla 15. Coordenadas de sondeos en Museo Real Alto.....	105
Tabla 16. Ubicación de muestras de agua.....	106
Tabla 17. Ensayo de bombeo N°1.....	110
Tabla 18. Ensayo de bombeo N°2.....	111
Tabla 19. Tabla de resultados de sondeos eléctricos verticales en el sector Sta. Elena, Ancón y Atahualpa.....	123
Tabla 20. Tabla de resultado de los sondeos eléctricos verticales en el sector de la Hacienda ESPOL-PECHICHE.	128

Tabla 21. Tabla de resultados de los sondeos eléctricos verticales en el sector de MUSEO REAL ALTO.....	130
Tabla 22. Análisis de agua durante el ensayo de bombeo en la Hacienda de la ESPOL.....	143
Tabla 23. Análisis de agua en toda el área de estudio.....	145
Tabla 24. Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside.....	148
Tabla 25. Presupuesto para la instalación de un pozo somero de 30m de profundidad para uso personal.....	171
Tabla 26. Presupuesto para la instalación de un pozo para una junta de agua potable.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Ubicación del Área de Estudio.....	6
Figura 2.1. Ciclo del Agua.	14
Figura 2.2. Tipos de Agua del subsuelo.....	17
Figura 2.3. Descarga del Agua subterránea.	18
Figura 2.4. Tipos de Acuíferos.....	22
Figura 2.5. Métodos de Resistividad.....	28
Figura 2.6. Dispositivo Schlumberger.....	29
Figura 2.7. Dispositivo Wenner.....	29
Figura 2.8. Cortes de dos Capas.....	32
Figura 2.9. Cortes de tres Capas.....	32
Figura 2.10. Cortes de cuatro Capas.....	33
Figura 2.11. Circuito de emisión.....	34
Figura 2.12. Circuito de recepción.....	36
Figura 2.13. Correlación entre los distintos materiales geológicos con la resistividad de campo que se observa en los SEV.....	42
Figura 2.14. Curvas auxiliares tipo K y Q.....	43
Figura 2.15. Curvas auxiliares tipo A y H.....	44
Figura 2.16. Curvas de 2 capas.....	45
Figura 4.1. Columna realizada en el Proyecto de Abono Orgánico.....	80
Figura 4.2. Columna estratigráfica realizada en el Museo Real Alto.....	81
Figura 4.3. Columna estratigráfica realizada en Atahualpa.....	82
Figura 4.4. Resistivímetro Terrameter SAS-300B.....	99
Figura 4.5. Carrete metálico móvil para bobinar el cable.....	100
Figura 4.6. Electrodo de acero puntiagudo.....	100
Figura 4.7. Amplificador de potencia SAS.	100
Figura 4.8. Configuración de Schlumberger.....	101
Figura 5.1. Ingreso de datos a programa.....	120
Figura 5.2. Elección del modelo.	121
Figura 5.3. Ajustes de los valores de campo con el modelo.....	121
Figura 5.4. Entrega de resultados del programa de interpretación.....	122
Figura 5.5. Gráfico de abatimiento durante el ensayo de bombeo N°1...	131
Figura 5.6. Gráfico de abatimiento durante el ensayo de bombeo N°2...	132
Figura 5.7. Representación tridimensional de los flujos de carga y descarga del acuífero en la Hacienda ESPOL-PECHICHE....	136
Figura 5.8. Representación tridimensional de los flujos de carga y descarga del acuífero en el Museo Real Alto.....	137
Figura 6.1. Normas de Riverside para evaluar la calidad del agua de riego.....	147
Figura 6.2. Variación de la conductividad eléctrica durante el ensayo.....	151
Figura 6.3. Variación de la concentración de cationes Na durante el ensayo.	151

Figura 6.4.	Variación de la concentración de aniones Cl durante el ensayo.	152
Figura 6.5.	Variación del índice de absorción del sodio durante el ensayo.....	152
Figura 6.6	Variación de la concentración de cationes Ca durante el ensayo.....	153
Figura 6.7.	Variación de la concentración de cationes Mg durante el ensayo.....	153
Figura 6.8.	Variación de la dureza durante el ensayo.....	154
Figura 6.9.	Valores de Isoresistividades a una profundidad de 15 m, representación tridimensional.....	157
Figura 6.10.	Valores de Isoresistividades a una profundidad de 30 m, representación tridimensional.....	157
Figura 6.11.	Valores de Isoresistividades a una profundidad de 50 m, representación tridimensional.	158
Figura 6.12.	Valores de Isoresistividades a una profundidad de 100 m, representación tridimensional.....	158
Figura 6.13.	Pozo de prueba.....	165
Figura 6.14.	Diseño del pozo.....	166

INTRODUCCIÓN

Este Proyecto de Tesis se ha realizado gracias a la colaboración de las siguientes unidades participantes de la ESPOL: Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT), Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE), Centro de Estudios Estratégicos (CEE) y la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT).

Este trabajo pretende ayudar a los habitantes del sector de Santa Elena–Ancón–Atahualpa y Pechiche en una superficie, aproximadamente, de 184 Km², buscando soluciones a los problemas de abastecimiento de agua, ya que estos son limitados, distantes o se accede con dificultad a ellos.

La zona de estudio se encuentra en la Región Costa del Ecuador, específicamente en la Península de Santa Elena que tiene un clima tropical árido a semiárido. Las temperaturas medias anuales son de aproximadamente 24°C. Las precipitaciones anuales son inferiores a 500 mm. En la zona se producen abundantes lluvias en la época invernal y en casos especiales (fenómeno climático de El Niño) se observa que el paisaje mejora notablemente. El fenómeno citado puede aprovecharse favorablemente en la recarga de los acuíferos y en la captación de agua mediante albarradas.

El objetivo principal de este trabajo fue realizar una caracterización geoelectrica para encontrar agua subterranea y así gestionar o proponer su explotación por la gente del sector, con el fin de orientar para su utilización para la ganadería, reforestación, agricultura controlada por sistemas de goteo y para consumo humano. Así se identificó sitios con importantes potencialidades acuíferas para la construcción de pozos de agua. Los datos obtenidos de las condiciones geológicas y las profundidades a las que se cree será necesario llegar, que inciden en la selección correcta del equipo y la zona de perforación con lo cual es posible reducir costos en nuestro objetivo a largo plazo que consiste en el diseño y construcción de pozos que abastezca a los sectores que no tienen acceso ya sea por su condición económica o por su lejanía a los proyectos del Trasvase. La investigación, basada principalmente en el análisis de los resultados obtenidos de una campaña de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), precedida y correlacionada de análisis de información hidrogeológica, geológica y topográfica, además de análisis físico-químicos realizados en muestras aleatorias de aguas subterráneas para determinar la calidad del agua.

La importancia de este proyecto es dar el primer paso del conocimiento integral para un mejor manejo del agua subterránea y superficial, buscando a futuro que estos estudios se desarrollen en toda la zona un sistema de explotación racional y ordenado del agua mediante pozos y albardas.

CAPÍTULO I.

I. ANTECEDENTES.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La polémica por el agua en la Península de Santa Elena es un problema que lleva años sin una solución definitiva, por lo cual se justifica la realización de este trabajo de tesis. A continuación detallamos los principales justificativos encontrados en la zona de estudio:

- Actualmente la Península de Santa Elena, es una zona semiárida, mientras que años atrás era un bosque tropical. La zona en estudio, posee un clima tropical árido a semiárido con una evapotranspiración mayor que las precipitaciones (precipitaciones anuales inferiores a 500 mm, durante la estación lluviosa de enero–abril), por lo tanto hay una déficit en cuanto al abastecimiento de agua y existe carencia de agua dulce, debido a que no cuenta con fuentes de agua superficial ya que los ríos son intermitentes y además se cuenta con la problemática de la intrusión marina que están recibiendo los acuíferos. Los ríos más importantes son: río Verde y río Tambo, pero estos permanecen sin agua superficial, en las épocas secas.
- Otro factor importante en el sector es el Proyecto Trasvase Daule-Santa Elena, en referencia al cual podemos hacer las siguientes consideraciones:

Precio.

Alto Costo del agua: el precio del agua potable era de 0.6 USD/m³, para el mes de julio de 2001 y a partir de septiembre, por los continuos reclamos del sector el precio ha bajado a 0.48 USD/m³.

El precio actual en diciembre de 2001 es de 48 centavos de dólar el metro cúbico, la Comisión de Estudios para la Cuenca del Río Guayas (CEDEGÉ) provee de agua cruda a la empresa AGUAPEN, la que a su vez potabiliza el

líquido en su planta de Atahualpa y la distribuye a la Península de Santa Elena. Uno de los mayores problemas que se suscitan en la población es el costo de las planillas por consumo de agua potable por considerarse excesivos los valores registrados de 12 000 m³ de agua cruda que envía por día a la Península de Santa Elena. La mayoría consumen de 0 a 8 m³ por mes, que es la tarifa mínima.

Tarifa en la Península de Santa Elena.

1m³ \$ 0.48.

Tarifa en Guayaquil.

1m³\$ 0.229.

Cantidad.

El Plan Hidráulico Acueducto Santa Elena construido por la CEDEGÉ permite solo disponer de agua en cantidad suficiente a los sitios cercanos a los principales centros poblados, lo que ocasiona inconvenientes al no estar dentro del área de influencia del servicio brindado, por lo cual muchas personas no tienen acceso a este servicio.

Calidad.

La calidad del agua que reciben los pobladores es constantemente cuestionada, debido a su sabor un poco salobre y en otros casos debido al sabor a cloro, por lo cual han existido muchas quejas.

- Otro problema a considerar es la intrusión marina que están recibiendo los acuíferos lo cual ocasiona un incremento de la salinidad del agua del subsuelo, en algunos sectores debido a la sobre-explotación del recurso por parte de las camaroneras, el cual ya se ve reflejado en pozos de algunas

localidades, lo cual hace que el agua de algunos sectores ya no sea apta para el consumo humano, pero lo importante es también poder dar usos alternativos de acuerdo al porcentaje de salinización para ciertos tipos de cultivos y en la cría de animales. Debido a esto se crea la necesidad de realizar sistemas de abastecimiento de agua más económicos, por lo cual este proyecto plantea la construcción de pozos con tanques elevados para el abastecimiento de cada comuna.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO.

El presente estudio constituye el resultado de una campaña de prospección Geofísica (Resistividad Eléctrica) realizada en el sector de Santa Elena, Ancón, Atahualpa y Pechiche en una superficie de aproximadamente 184 km², cuya finalidad es el abastecimiento de agua dulce al sector, considerado prioritario para su desarrollo sustentable, junto a análisis de datos de inventarios de pozos, análisis químico de agua, fisiografía y datos que complementan el conocimiento del sector en referencia al agua subterránea.



Figura 1.1. Ubicación del Área de Estudio.

(Fuente: Centro de Estudios Estratégicos de la ESPOL).

1.3. ESTUDIOS ANTERIORES.

Entre los estudios realizados anteriormente, y recabados como sustento para esta investigación, tenemos:

- Guía Geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana, realizada en 1987, por la ESPOL este estudio da un conocimiento de la estratigrafía y tectónica de la costa ecuatoriana.
- Los Estudios realizados por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) y Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGÉ)., Estos estudios tratan sobre diversos informes técnicos de Prospecciones Geoeléctricas realizadas, pruebas de pozos, análisis bacteriológicos, análisis físico-químicos de muestras de agua.
- Evaluación de los Recursos de Agua del Ecuador realizado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América-Distrito de Mobile y Centro de Ingeniería Topográfica, publicado en septiembre de 1998. Además en 1995 la oficina de Ingenieros del Comando Sur de los Estados Unidos comisionó al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos del Distrito de Mobile, Alabama y al Centro Topográfico de Ingeniería del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en Alexandria, Virginia para llevar a cabo una evaluación de los recursos de agua del Ecuador. Este reporte compara información de diversas fuentes, y la evaluación tuvo dos objetivos. Uno de los objetivos era el de proveer un análisis de los recursos de agua existentes en Ecuador e identificar algunas oportunidades disponibles para el Gobierno del Ecuador para maximizar la utilización de estos recursos. El otro objetivo era proporcionar al Ecuador y a los planificadores militares estadounidenses de información precisa para la

planificación de varios ejercicios de entrenamiento militar en conjunto con ejercicios de ingeniería de asistencia cívica humanitaria tales como las series de “Nuevos Horizontes” (New Horizons).

- Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en el Ecuador realizado en Febrero 15 del 2000 por Remigio H. Galárraga-Sánchez. Este informe consta de una recopilación y comparación de información de diversos organismos que han realizado estudios sobre el agua en el Ecuador. A continuación se detalla las referencias tomadas por el autor de este informe, y que consta de referencias nacionales e internacionales:

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Hidráulicas (CEDEX).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI).

Organización Mundial de la Salud (OMS).

Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

- Información facilitada por el Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Los datos recibidos comprenden varios estudios sobre el potencial de recursos de agua subterránea realizado por HIDROTECHNICS, análisis físico-químicos de muestras de agua. Además de mapas de ubicación e información socioeconómica del sector y otros proyectos, actividades y gestiones posibles relacionadas al agua (especialmente agrícolas y de reforestación).

- Centro de Estudios Estratégicos (CEE) de la ESPOL, la información recibida son mapas topográficos del área de estudio.

1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA A APLICARSE PARA EL ESTUDIO.

A continuación se indica y se explica los pasos que se siguieron dentro de este trabajo:

1) *Recopilación de información*: estudios topográficos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrogeológicos y prospección geoeléctrica de aguas subterráneas.

2) *Inventario y toma de muestras de agua de pozos*: se realizó un inventario de los pozos ubicados en el sector y se receptó las inquietudes y necesidades de las personas de las diferentes comunas. Así mismo se realizó la toma de muestras de agua de pozos de las localidades en estudio, para la posterior realización de los análisis físico-químicos del agua.

3) *Estudios Geológicos*: recorrido y verificación de los estudios geológicos-estratigráficos, realizados anteriormente, buscando y ubicando afloramientos, identificación y descripción litológica del sector por localidades.

4) *Estudios Geofísicos por medio de sondeos eléctricos Verticales (SEV)*: esta investigación está basada principalmente en el análisis de los resultados obtenidos de una campaña de Prospección Geoeléctrica (SEV), de 53 SEV que tienen como objetivo principal definir el área más propicia para la extracción, precedido de un análisis de información, además de análisis físico-químicos realizados en muestras aleatorias de aguas para determinar la calidad del agua en zonas cercanas.

El equipo utilizado para realizar los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) fue el TERRAMETER SAS 300-B Atlas Copco y los Software PISE 4 y WINSEV que son los programas de interpretación de los sondeos por medio de los cuales definiremos las distintas capas geoelectricas encontradas en ese punto, identificando de esta manera la profundidad, espesor y resistividad de la capa potencialmente más favorable de almacenamiento de agua, después de correlacionar con los datos geológicos.

5) *Calicatas*: se realizaron calicatas en los cauces de los ríos para la realización de las columnas estratigráficas con su respectiva identificación litológica, para la correlación con los cortes geoelectricos realizados.

6) *Realización de un Pozo de Prueba*: la construcción de un pozo de agua en la zona más favorable del sector estudiado, para determinar el rendimiento de la formación productora de agua.

7) *Ensayo de Bombeo*: el objetivo de la Prueba de Pozo es el de obtener información acerca del comportamiento y eficiencia del pozo mientras este se bombea, este resultado se reporta en términos de la descarga, el abatimiento observado y la capacidad específica calculada, esto nos dará la capacidad productora del pozo y nos permitirá tener la base para la selección del equipo de bombeo.

8) *Pozo de agua*: se concluye con la instalación definitiva del pozo en el Proyecto de Abono Orgánico (para sembrar espárragos de exportación) en Pechiche en la Península de Santa Elena.

1.5. OBJETIVOS.

- Calcular el potencial volumétrico del agua subterránea entre: Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche.
- Analizar la calidad de las aguas subterráneas para poder aprovecharlas eficazmente de acuerdo a sus características físico-químicas y en relación a su cantidad.
- Identificar sitios potenciales para la construcción de albardas que permitan el almacenamiento de agua para tiempos de sequía.
- Identificar sitios potenciales para la construcción de pozos que aprovechen las aguas subterráneas existentes.
- Orientar sobre el manejo eficaz del recurso agua en la producción agrícola pecuaria y recursos forestales.
- Aportar al desarrollo de la Península de Santa Elena, por medio de un trabajo de investigación que será recopilado por medio de esta tesis, que sirva para la continuación de futuros proyectos en este sector.
- Establecer una propuesta de construcción de un pozo de agua basándose en el estudio realizado, que presente un diseño de un pozo de agua en el sector que optimice el aprovechamiento del recurso agua.
- Realizar consideraciones económicas de los costos de la construcción de un pozo en el mejor sector y analizar la viabilidad de pasar a la construcción.

CAPÍTULO II.

II. BASE TEÓRICA.

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROGEOLOGÍA.

2.1.1. EL CICLO HIDROLÓGICO.

A escala mundial se cuenta con una cantidad total del agua de aproximadamente $1.380.000 * 10^{12} \text{ m}^3$. Solo una pequeña parte de esta cantidad de agua - $7.000 * 10^{12} \text{ m}^3$ (0.5%) aproximadamente, forma el agua subterránea.

<u>Ecuación Básica de la Hidrología</u>			
Precipitación	=	Escorrentía	Superficial+Escorrentía
Subterránea+Evaporación			

Es decir, los procesos de precipitación, escorrentía y evaporación forman un equilibrio. Si no fuera así, la tierra sería hundida y prácticamente sin agua en la atmósfera en el caso de una precipitación mayor que la evaporación, o la tierra sería un desierto sin ríos y océanos en el caso de una evaporación mayor que la precipitación.

En referencia a la ecuación básica de la hidrología y que implica a la parte subterránea, vale indicar que en un sentido genérico no se puede separar al recurso agua, es decir, su división en superficial y subterránea es solo un formulismo. El agua es un factor único, independiente en sí, pero relacionado por sus diversos caminos o trayectorias en la superficie terrestre y sus conexiones atmosféricas y subterráneas.

El siguiente diagrama ilustra los participantes más importantes del ciclo hidrológico: la precipitación, la escorrentía y la evaporación.

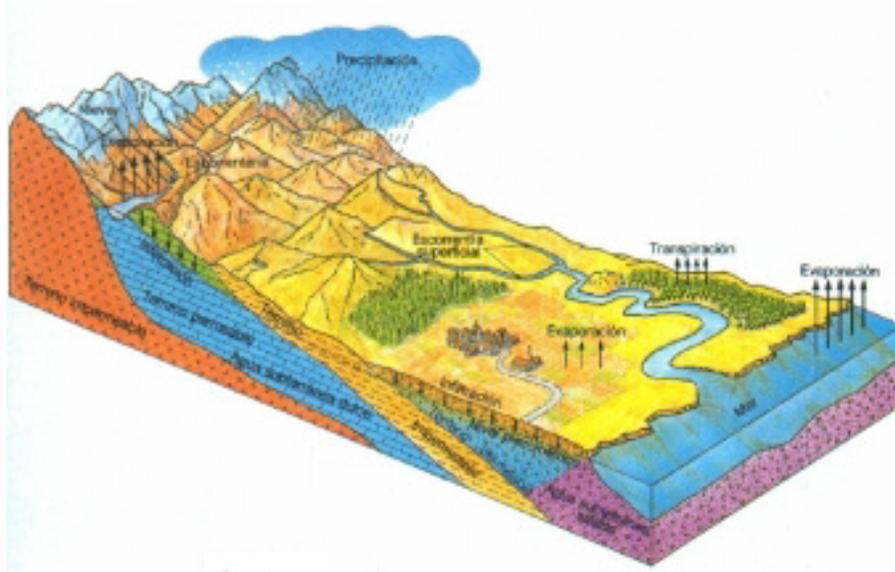


Figura 2.1.- Ciclo del agua (ITGE).

El agua subterránea representa solamente una parte del agua del subsuelo que se produce por los procesos de precipitación, escorrentía y evaporación.

Infiltración.

El agua de la precipitación que no esté retenida se infiltra al suelo para formar parte del agua del subsuelo.

Las aguas del subsuelo representan solamente una pequeña parte del ciclo hidrológico total.

Hay que tomar en cuenta que no todo el agua que se infiltra al suelo está definida como agua subterránea, porque la infiltración del agua de la precipitación produce:

- Humedad de suelo que se gasta por el consumo de la vegetación, la evaporación y la transpiración y que se renueva con cada evento de precipitación.
- Escorrentía hipodérmica que entra al suelo pero que corre solo por poco tiempo y normalmente por poca distancia en el subterráneo hasta llegar a un río. Este tipo de escorrentía subsuperficial no renueva la reserva del agua subterránea pero forma luego parte de la escorrentía superficial.
- Escorrentía subterránea, que es una parte del agua subterránea.

2.1.2. EL AGUA DEL SUBSUELO.

Se puede definir los diferentes tipos del agua del subsuelo en tal forma:

- El *agua del subsuelo* incluye todo el agua en el subterráneo en forma líquida o gaseosa, es decir, el vapor de agua en el suelo, el agua capilar, la humedad del suelo, el agua adhesivo y el agua freática.
- El *agua vadosa* se entiende como el agua capilar y la humedad de suelo.
- El *agua subterránea* (sinónimo: agua freática) es el agua que llena los vacíos del suelo y de la roca completamente y que muestra movimientos que dependen solo o casi solo de las fuerzas de gravitación y fricción. Los vacíos pueden ser poros, rupturas, grietas, fisuras o cuevas de distinto tamaño.

Se puede distinguir principalmente tres tipos de agua subterránea:

Aguas meteóricas / aguas del intercambio.

Son aguas que siempre o periódicamente participan en el ciclo hidrológico y que circulan más superficial en niveles altos del subterráneo.

Aguas de reserva.

Son aguas que circulan en niveles bajos y que no pertenecen al ciclo periódico.

Muchas veces este tipo de agua no participa en el ciclo hidrológico en tiempos históricos y no se alimenta tampoco por precipitaciones o por otros procesos. Una vez explotado este agua, el agua de reserva desaparece sin ser renovado.

Aguas profundas / aguas de formación.

Este agua tampoco pertenece/participa en el ciclo hidrológico (o sea, solamente durante tiempos geológicos). El agua de formación representa agua atrapada durante los procesos de sedimentación. Muchas veces estas aguas son saladas. En los textos clásicos de hidrogeología se le conoce como agua fósil.

Una diferenciación muy exacta entre estos tipos recientemente mencionados no siempre es posible; tampoco se puede decir en forma general a que profundidad se encuentran los límites de los diferentes tipos. La diferenciación de los distintos tipos depende más que nada de la situación geológica y su relación en el espacio y tiempo, más específicamente a su situación hidrogeológica particular de un sector.

El dibujo abajo muestra los diferentes tipos del agua del subsuelo. La **"zona de aireación"** ("agua vadosa") corresponde a una zona no saturada, es la parte del suelo en que los espacios (zona de poros) son ocupados por aire.

La **"zona saturada"** es tal parte del suelo, en que todos los poros y grietas están llenos de agua.

El límite entre las dos zonas es marcado por el "nivel freático". También permite definir la zona de aireación y la zona de saturación, separadas por la característica zona de fuerzas capilares. Este apartado que consta de las definiciones mencionadas se suele llamar el perfil característico de la hidrogeología.

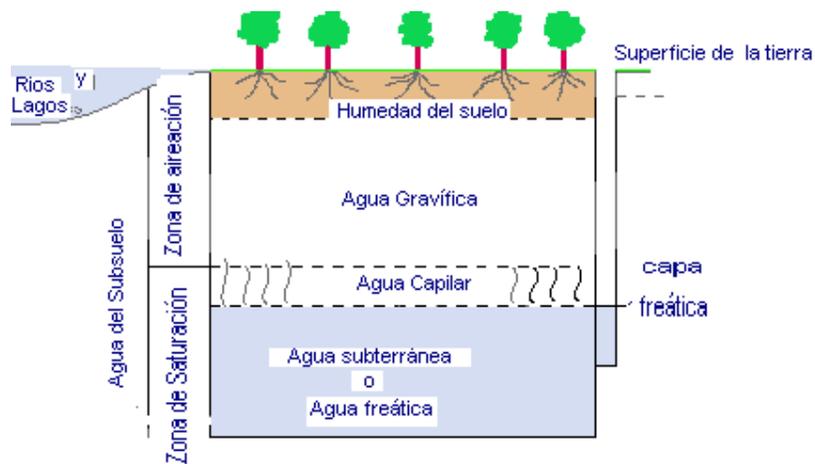


Figura 2.2. Tipos de agua del subsuelo.

(Apuntes de la Universidad de Atacama).

2.1.3 DESCARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Siempre cuando el nivel freático (la superficie del agua subterránea) llega a la superficie del terreno, se forma un manantial. Estos puntos de la descarga del agua subterránea dependen de la situación geológica del lugar y producen varios tipos de manantiales.

El tipo más simple son manantiales tipo vertedero. El manantial se forma básicamente por fuerzas gravitacionales. Este tipo de manantial casi siempre descarga agua, también en períodos de sequía. En rocas estratificadas se observan frecuentemente horizontes de descarga donde las manantiales son alineados, marcando el contacto entre rocas permeables y no permeables. Pueden ser por aguas de infiltración recogidas por una capa impermeable, donde el agua busca su nivel de reposo.

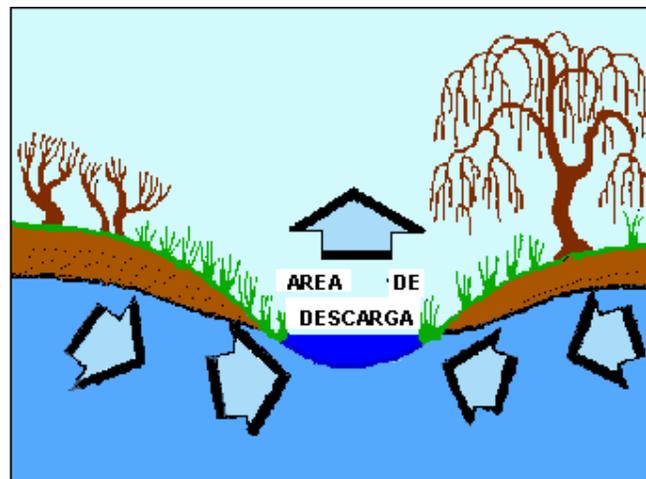


Figura 2.3 Descarga del agua Subterránea.

(Apuntes de la Universidad de Atacama).

2.1.4 LOS ACUÍFEROS Y SUS PROPIEDADES.

El estudio del agua subterránea es importante para la realización de obras de ingeniería, para la ejecución de investigaciones geológicas y muy especialmente para el desarrollo de obras de captación de dicha agua con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades del hombre.

Las formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla reciben el nombre de *acuíferos*. Los acuíferos sirven como conductos de transmisión y como depósitos de almacenamiento.

Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga, hacia lagos, pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda a la recarga y, a la vez, almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción.

- De lo dicho anteriormente, se ve claramente que los acuíferos se caracterizan por ser permeables al agua, es decir, por permitir el paso de ésta a través de ellos; pero, junto a los acuíferos propiamente dichos, aparecen otras formaciones geológicas que reciben nombres de acuerdo con sus posibilidades de contener agua y de permitir su circulación, son como diversas variedades de acuíferos en dependencia de las características geológicas y sus relaciones con las propiedades hidráulicas, en definitiva las relaciones hidrogeológicas, tales como: los acuicludos o acuícieres, los acuitardos y los *acuífugos*.

Características Geológicas Generales de los Acuíferos.

No todas las formaciones geológicas poseen las propiedades que caracterizan a un acuífero, es decir, que sus intersticios o espacios huecos, sean capaces de almacenar el agua y de servirle de conductos a la vez para transmitirla, permitiendo su aprovechamiento para satisfacer las necesidades del hombre. Desde este punto de vista, el concepto de acuífero es en cierto modo relativo, ya que una formación geológica que sea capaz, por ejemplo, de producir 1 l/s, no se considerará como acuífero, en un lugar donde haya otras en que sea posible captar 50 l/s o más; pero en una región árida, donde no haya otras posibilidades, a pesar del ínfimo caudal, esa formación que brinda 1 l/s, para resolver las necesidades de una pequeña población, constituye sin duda un acuífero, aunque pobre. Así en una zona un acuífero que ofrezca mediante un pozo 1 l/s puede contribuir mucho a la vida del ser humano.

Los espacios huecos o intersticios que presentan las rocas que componen los acuíferos, pueden ser poros o vacíos ínter granulares, como en el caso de rocas formadas por depósitos sedimentarios granulares (grava y arena) consolidados o no, o fracturas, fisuras y canales de disolución. Parece oportuno destacar aquí, que una porosidad alta puede ser una buena cualidad de un acuífero pero que la alta porosidad no significa, al mismo tiempo, la posibilidad de transmitir grandes cantidades de agua. (Las arcillas, como se dijo, son muy porosas pero a la vez poco permeables). La existencia de dos tipos, en general, de intersticios ha hecho que algunos autores europeos (ver Castany y Schneebeili) hablen de rocas y terrenos de permeabilidad por porosidad y permeabilidad por fisuración. Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden mencionarse:

- Acuíferos formados por depósitos no consolidados.

- Acuíferos formados por rocas consolidadas.

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados, están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente, arenas, gravas o mezclas de ambas de origen geológico muy diverso. Según Todd el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo, caen bajo esta categoría.

Los acuíferos formados por rocas consolidadas pueden presentarse en:

- a) Calizas y dolomías (fisuradas, fracturadas y karstificadas).
- b) Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas).
- c) Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas).
- d) Algunas rocas cristalinas (granitos fracturados, por ejemplo).

Distintos Tipos de Acuíferos.

Los acuíferos pueden clasificarse según la textura de los materiales que los constituyen, según el grado de presión a que están sometidos los mantos y según la ubicación geográfica. A continuación se detalla la clasificación en la tabla 1.

Tabla 1.- Tipos de Acuíferos.

Según la textura de los materiales que los constituyen.	Porosos (P).
	Fisuras (F) o Karstificado.
Según el grado de presión que están sometidos los mantos.	Libres (L).
	Confinados (C).
Según la ubicación geográfica.	Costeros (Co).
	Interiores o (I) continentales.

De acuerdo con el grado de confinamiento de las aguas que contienen, los acuíferos pueden clasificarse en cuatro tipos:

- Acuíferos libres, freáticos o no confinados.
- Acuíferos confinados o artesianos Pozo en el nivel freático.
- Acuíferos semiconfinados (leaky aquifers).
- Acuíferos semilibres.

Tabla 2.- Caracterización de los Acuíferos.

Capa Superior.	Tipo de Acuífero.
Impermeable	Confinado
Semipermeable en que puede ignorarse la componente horizontal del flujo	Semiconfinado
Semipermeable, menos permeable que la parte principal del acuífero, en que hay que tomar en cuenta la componente horizontal del flujo	Semilibre
Igual que la parte principal del acuífero	Libre

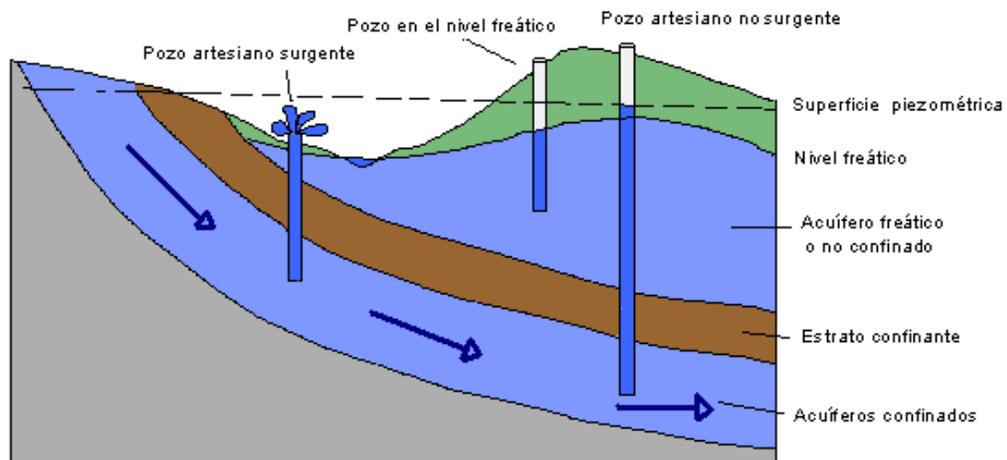


Figura 2.4 Tipos de acuíferos.
(Apuntes de la Universidad de Atacama).

2.2. PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA.

2.2.1. MÉTODOS GEOELÉTRICOS DE PROSPECCIÓN.

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 que suelen usarse para identificar los cuerpos situados en el subsuelo. Estas magnitudes son la permeabilidad magnética, la constante dieléctrica o permitividad y la resistividad. La propiedad más utilizada en los métodos geofísicos de eléctrica es la resistividad.

Los métodos eléctricos de prospección se basan en el estudio de campos de potencial, tanto en lo referente a los naturalmente existentes en la corteza terrestre, como a los artificialmente provocados en la misma. Mediante estas mediciones se puede determinar la situación en el subsuelo, y para la obtención de las mismas utilizaremos este segundo método.

En la inyección de energía al terreno es posible la inyección tanto de corriente continua (CC) como de corriente alterna (CA). En el caso de utilizar CA utilizaremos frecuencias que sean lo mas bajas posibles, debido a que la profundidad de penetración disminuye rápidamente a medida que aumenta la frecuencia.

Las aplicaciones reales de estos métodos se utilizan en la minería, en la cual han supuesto un desarrollo de este sector, en la ingeniería civil para la determinación de la profundidad de roca firme en presas o túneles, y en otras muchas aplicaciones. Y obviamente una de las aplicaciones más interesantes e importantes es para la búsqueda de aguas subterráneas.

También se emplea este método (geoeléctrico) para seguir la marcha de filones no conductores como espato-flúor, o diques de cuarzo aurífero.

En lo que se refiere al método de resistividades que es el que trata este proyecto, su aplicación más importante consiste en la determinación de aguas subterráneas, y además es él mas adecuado ya que la diferencia entre una roca seca y una impregnada de agua es su conductividad eléctrica.

Un criterio muy importante es el que clasifica los métodos según un 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, que es lo que correlacionado a la geología nos permite interpretar la realidad. Cuando tal distribución se representa gráficamente en forma de corte vertical esta representación recibe el nombre de *corte geoeléctrico*.

También es interesante conocer si en un método determinado el campo electromagnético es constante (corriente continua) o varía en el transcurso del tiempo (métodos de campo variable). En rigor todos son electromagnéticos.

Clasificación de los Métodos Geoelectricos.

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 geoelectrico.

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 geoelectricos, 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.

Tabla 3. Clasificación de los Métodos Geoelectricos..

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

2.2.2 MÉTODO DE 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:

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

donde la *constante* k es:

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

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

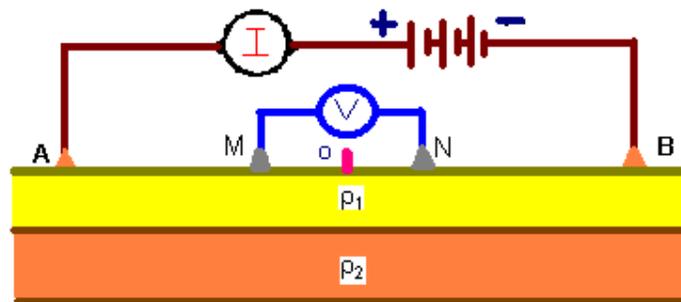


Figura 2.5 Método de Resistividades.

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", r_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.

Método Schlumberger .

El dispositivo Schlumberger es el que se ha impuesto sobre los demás. En este dispositivo los electrodos de medida M y N se sitúan simétricamente a la distancia l del punto de estación O . Los electrodos de corriente, de igual

forma, a la distancia variable L , y de forma que los cuatro electrodos queden alineados sobre el terreno tal y como de ve en la figura siguiente.

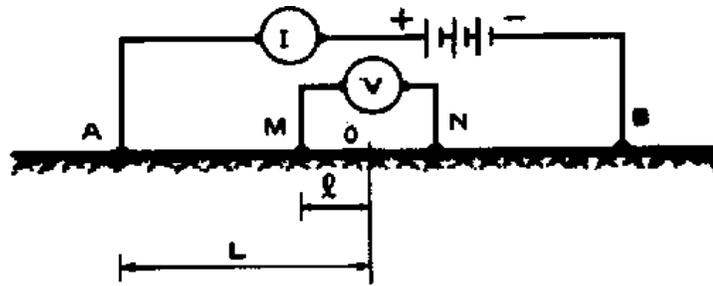


Figura 2.6 Dispositivo Schlumberger.

En este caso k resulta ser a

$$k = \frac{\pi L^2 - l^2}{2l}$$

Método Wenner.

Este sistema también utiliza el sistema de electrodos alineados y simétricos con el punto de estación O y como se puede ver en la siguiente figura $AM = MN = NB = a$.

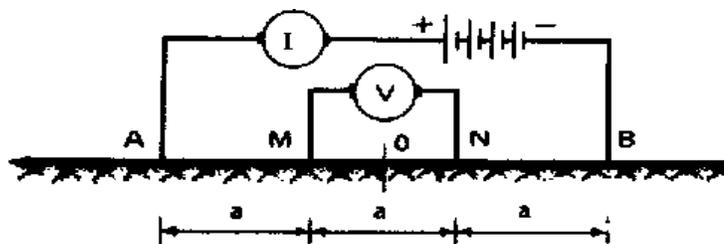


Figura 2.7. Dispositivo Wenner

Este método tiene el *inconveniente*, sobre el Schlumberger, que todos los electrodos han de modificarse en cada medida.

La k en este caso resulta ser: $k = 2\pi a$.

2.2.3 TEORÍA DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL.

2.2.3.1 DEFINICIÓN.

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 todo el texto por la sigla SEV.

2.2.3.2 GENERALIDADES.

Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada SEV se representan por medio de una curva en función de las distancias entre electrodos. Para que ello sea posible, es necesario que estas distancias puedan expresarse por una sola variable, pues de lo contrario habría que recurrir a una superficie y no a una curva. Esta condición puede cumplirse de dos modos: bien por el empleo de un dispositivo en el que la configuración de electrodos permanezca siempre geoméricamente semejante a si misma, que es el caso del dispositivo de Wenner, bien por la utilización de dispositivos en los que

solo influya una distancia. Esto ultimo es lo que ocurre con el dispositivo Schlumberger, en el que la distancia MN se considera nula frente a la AB.

Cuando se utiliza este dispositivo, las resistividades aparentes van en ordenadas y en abcisas las distancias $AB/2$. Para el dispositivo Wenner, se llevan en las abcisas los valores sucesivos de la distancia a . Las escalas sobre ambos ejes han de ser logarítmicas, la curva así obtenida se denomina curva de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), curva de campo o curva de resistividad aparente.

La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. La mayor eficacia del método corresponde al caso en que se efectúan los SEV sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad y limitadas por planos paralelos a la superficie del terreno (medio estratificado). La experiencia demuestra que los resultados teóricos obtenidos para medios de esta clase son tolerablemente válidos para estratos inclinados hasta unos 30° .

La especificación de espesores y resistividades de cada medio estratificado recibe el nombre de Corte Geoeléctrico. Un corte geoeléctrico compuesto por n capas requiere para su especificación n resistividades y $n-1$ espesores o $n-1$ profundidades, puesto que la última capa, denominada sustrato, tiene siempre espesor infinito.

Los cortes geoeléctricos pueden clasificarse atendiendo al número de capas que los componen. Los cortes del mismo número de capas pueden subdividirse según el orden en que aparezcan, en los sucesivos contactos, resistividades mayores o menores que en la capa suprayacente.

Para el uso más cómodo de esta clasificación, es muy conveniente establecer algún sistema de notación. Emplearemos aquí la seguida por autores soviéticos, cuyo origen exacto se desconoce. Los símbolos de esta notación son los siguientes:

Los cortes de dos capas, de los cuales existen dos tipos no llevan símbolo ($\rho_1 < \rho_2, \rho_1 > \rho_2$).

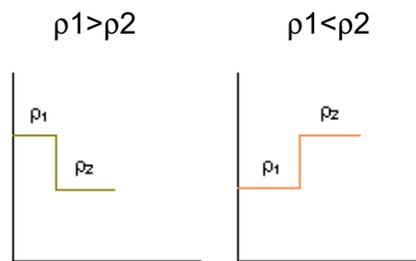


Figura 2.8 Corte de dos Capas.

Las letras latinas H,K,Q, A, representan respectivamente los cuatro tipos posibles para cortes geoelectricos de tres capas que son:

Tipo H $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$.

Tipo K $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$.

Tipo Q $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

Tipo A $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$.



Tipo H $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$.

Tipo K $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$.

Tipo A $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$.

Tipo Q $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.

Figura 2.9 Cortes de Tres Capas.

Los cortes de 4 capas se distribuye en 8 grupos que se designan como combinación de los anteriores, para ello se consideran las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondiente de las lista anterior, luego se hace lo propio con las tres ultimas capas. Así el tipo AA, corresponde a $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$.

Solo son posibles los tipos siguientes:

HK, HA, KH, KQ, QQ, QH, AK, AA. Los tipos KK, HH, HQ carecen de sentido, pues son contradictorios.

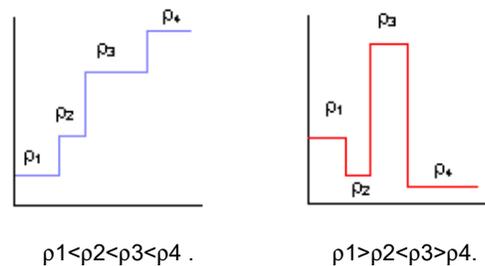


Figura 2.10 Cortes de Cuatro Capas.

Los cortes de 5 o más capas se simbolizan siguiendo el mismo método. Se considera en primer lugar las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondiente indicada en el párrafo b), luego se hace lo mismo con las capas segunda, tercera y cuarta, después con la tercera, cuarta y quinta.

Con las distribuciones de resistividades se puede construir un corte geoelectrico, para lo cual se emplean escalas logarítmicas en ambos ejes, y se obtendrá una gráfica escalonada del mismo tipo que las representadas en un corte geológico, sino que en este caso hay que correlacionar con la información geológica y así se denominará corte geoelectrico., que en base a la interpretación será de resistividades verdaderas.

2.2.3.3. TRABAJO DE CAMPO.

Antes de entrar en la técnica de campo del SEV, es necesario el estudio separado de los circuitos que intervienen, que son el de emisión, el de recepción. Es importante que estos circuitos sean independientes.

Circuito de emisión.

Su finalidad es la de hacer circular por el terreno, introduciéndole a través de dos electrodos A y B una corriente eléctrica de intensidad constante I . Este circuito estará compuesto, pues, de una fuente de alimentación F , de dos electrodos o tomas de tierra A y B, de un amperímetro o miliamperímetro para la medición de I y de los cables y elementos de conexión necesarios.

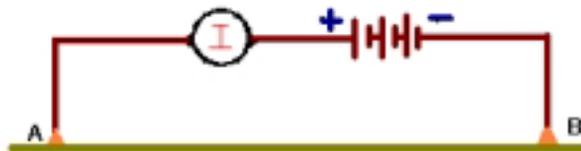


Figura 2.11. Circuito de Emisión.

Suelen usarse como electrodos barrenas de acero puntiagudas, este circuito consta esencialmente de:

Un generador, un miliamperímetro, cables y electrodos.

- **Generador:** el generador mas sencillo es una batería es fundamental que la batería este perfectamente aislada del suelo para evitar posibles fugas, es muy conveniente que la batería vaya alojada en una caja estanca y robusta para protegerla de la humedad.
- **Cable:** debe presentar reducidas resistencia óhmica, gran aislamiento y elevada resistencia a la tracción y por otra parte reducido. De acuerdo a los carretes que los contienen se dividen en carretes fijos y carretes móviles, el primero usado por geofísicos franceses y Soviéticos, consiste en el empleo de carretes grandes de material aislante, que se colocan junto al centro del SEV , usando un carrete para cada extremo.
- **El carrete móvil** es el mas empleado, en este se emplea cable corriente, mas liviano y flexible, bobinado sobre carretes metálicos pequeños de base aislante provistos de una asa, los cuales son llevados por el obrero hasta cada posición de los electrodos A o B soltando cable al mismo tiempo, de modo que quede depositado sobre el terreno., las ventajas de este sistema son las siguientes: como el cable no es arrastrado sobre el terreno , no sufre roces con piedras y matorrales, y su aislamiento no se desgasta y puede ser mas sencillo y liviano, el cable tampoco sufre tirones, por lo que su resistencia a la tracción puede ser mas pequeña, y al tener de cobre todos los hilos, su resistencia óhmica es menor, por ultimo como el carrete queda junto al electrodo, el peligro de fugas a través del carrete se hace casi inexistente, lo que permite su construcción metálica.
- **Electrodos:** son simples barrenas de acero común o inoxidable de longitud del orden de un metro y de 1 a 3 cm de diámetro. Cuando son de acero común es necesario lijarlos de vez en cuando para evitar la herrumbre., la conexión del cable debe ser de la manera mas sencilla a través de una mordaza de las empleadas en las baterías de acumuladores.

Circuito de recepción o de potencial.

Este circuito se representa de manera esquemática en la figura siguiente:

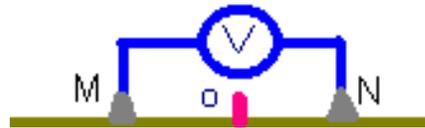


Figura 2.12 Circuito de Recepción.

En esta, R_1 es la resistencia del instrumento y R_M y R_N don las de contacto de los respectivos electrodos, la pila simboliza en el circuito de la gráfica anterior, V debida al campo creado por el circuito de emisión. A esta ΔV se suman en la practica parásitos (debido a tensiones perturbadoras de origen natural como polarización espontánea, corrientes telúricas, o bien artificial como: ferrocarriles eléctricos, instalaciones industriales o mineras) que pueden falsear mas o menos la lectura, como polarización de electrodos, corrientes telúricas o de origen industrial, etc. El instrumento puede ser un mili voltímetro digital con atenuación del ruido, potenciómetros, registradores.

Electrodos de Cobre.

La polarización de los electrodos es un fenómeno que constituye una de las causas de error mas importantes en la medición de ΔV . Su origen es que si los electrodos M y N son metálicos, al estar en contacto con los electrolitos del suelo, se comportan como semi-elementos de una pila eléctrica. Si la concentración y naturaleza de los electrolitos fuesen iguales alrededor de ambos electrodos, las fem respectivas también serian iguales y se anularían, pero por causa de la heterogeneidad del terreno esto no sucede casi nunca.

La polarización de los electrodos de cobre es menor que la observada en electrodos de acero, por lo que los primeros son recomendados por algunos autores, pero es mucho mejor el empleo de electrodos impolarizables, ya que

de esta manera se consigue que la Fem. de ambos electrodos sean iguales y se anulen, al menos teóricamente.

Instrumentos para la medición de ΔV .

El instrumento acoplado a los electrodos M y N para la medición de ΔV , debe ser robusto y ligero, de gran impedancia de entrada, capaz de medir tensiones comprendidas entre un poco mas de 1 voltio y fracciones de mV

Proceso de medición de campo.

El proceso de ejecución de un SEV depende en parte de la distancia final AB a que se pretende llegar. Desde este punto de vista, los SEV pueden clasificarse en:

Tabla 4.- Clasificación de los SEV según AB.

SEV.	AB FINAL.
CORTOS.	Hasta 200 m.
NORMALES.	Entre 200 m y 3 Km.
LARGOS.	Entre 3 Km y 40 Km.
MUY LARGOS.	Hasta 1200 Km.

Los sondeos cortos se aplican en ingeniería civil, arqueología, los normales en investigaciones hidrogeológicas, los largos en prospección petrolera y los muy largos para estudios de geofísica pura.

Hojas de campo.

Se dice que las curvas teóricas correspondientes al dispositivo Schlumberger son mas expresivas y sensibles a las características del corte geoelectrico sobre el que se efectúan que las obtenidas con el Wenner.

Las curvas de campo con el dispositivo de Schlumberger se muestra superior al de Wenner, la razón de ello es que en el primero permanecen fijos los electrodos de potencial, de modo que el efecto de la zona superficial donde están enclavados permanece el mismo en toda la curva hasta el próximo empalme. Al aumentar la distancia MN, puede ocurrir que el nuevo trozo de curva no coincida bien con la primera en los puntos de Ab común. Ahora bien, en el dispositivo Wenner, como los electrodos M y N se desplazan en cada lectura, puede decirse que todas la estaciones son de empalme y los saltos debidos a estos aparecen en toda la curva, sin posibilidad de conocerlos, lo que no ocurre en el Schlumberger.

El gran inconveniente práctico del dispositivo Wenner es la necesidad de mover 4 electrodos en vez de 2 y a distancias mayores que el de Schlumberger. Eso exige más tiempo y un mayor número de hombres que en este último, lo que implica menor productividad y mayor costo y aumenta la probabilidad de equivocaciones en la maniobra.

2.2.3.4 LA INTERPRETACIÓN.

La finalidad de las campañas de SEV es la determinación de la estructura del subsuelo en la zona estudiada. Para ello es necesario superar dos etapas: la primera de ellas es la distribución de las resistividades en el subsuelo y la segunda es el significado geológico de tales resistividades, con lo que se pasa del corte geoelectrico a un corte geológico.

Existen calculadas curvas teóricas para el caso de varias capas, curvas-patrón representadas en colecciones convenientemente ordenadas.

En teoría hay que obtener la curva de resistividades aparentes-longitudes de la línea de emisión, dibujarla en papel logarítmico transparente y superponerlas sobre las curvas-patrón de las colecciones que se posean hasta encontrar la coincidencia, los valores de las resistividades y espesores de las capas están definidos por las hipótesis de cálculo de la curva-patrón coincidente. Las colecciones de curvas más conocidas en la actualidad son:

A. M. Pilaev (1948).

B. Compagnie Générale de Géophysique (1955 y 1963).

C. Orellana y Money (1966).

D. Rijkswaterstaat (1970).

E. Curvas auxiliares, A. M. Pilaev (1948).

F. Curvas auxiliares, Koefoed (1979).

Las colecciones citadas se agrupan en ábacos según el número de capas, y con ellas se procede a la interpretación por medio de catálogos de curvas patrón.

Interpretación Cualitativa.

Mapas de tipos de curvas, mapas de la conductancia longitudinal, mapas de la resistencia transversal, mapas de resistividad aparente y representación en cortes. Cabe indicar que todo tipo de interpretación pasa por la correlación con la geología. Este es un apartado inherente de los trabajos de Geofísica, sin excepción alguna.

Interpretación cuantitativa.

Métodos numéricos de interpretación.

Interpretación automática mediante software.

Las investigaciones hidrogeológicas constituyen el campo de aplicación donde la superioridad del SEV sobre otros procedimientos es indiscutible. El método SEV no detecta directamente el agua, sino que lo que suele buscarse con este procedimiento son estructuras y capas acuíferas y la diferenciación entre materiales permeables e impermeables.

Hay que saber primero que estructuras deben buscarse basándose en un estudio hidrogeológico. Uno de los resultados más importantes es decidir la conveniencia de efectuar o no pozos o perforaciones y en caso afirmativo, la ubicación y profundidad más favorable para estas captaciones.

A medida que el tamaño de grano crece desde las arcillas a las gravas, aumenta también en el mismo sentido la permeabilidad y la resistividad. Por lo que se busca zonas resistivas.

Las arcillas suelen tener resistividades entre 5 y 25 Ωm y las arenas y gravas desde 50 a varios centenares de Ωm . Volviendo a insistir que estos valores deben adaptarse a la realidad de cada localidad en referencia de los datos geológicos del mismo. Así es posible que dependiendo del lugar, un mismo valor de resistividad puede representar dos litologías distintas. Hay diversas tablas de varios autores que dejan un amplio rango de valores a ciertas

litologías, pues de acuerdo a sus relaciones con el medio su variación ocurre. Así, en la tabla 5 tenemos unos valores referencias que sirven para la interpretación.

Tabla 5.- Valores Frecuentes de Resistividad para Rocas Sedimentarias.

Rocas sedimentarias.	Rangos de Resistividad específica. (Ω-m).	Valores frecuentes de Resistividad específica. (Ω-m).
Limos.	20-100	-
Arcillas.	6-100	16-20
Arenas.	100-500	-
Areniscas.	30-1000	200-400
Conglomerados.	100-1000	-
Yeso.	1000-200000	1500-1800
Calizas.	100-100000	300-700

En la figura 2.13, tenemos otra gráfica que sirve para referenciar los valores que se obtiene en el campo de resistividades y así poder interpretar que tipo de litología se tiene. Es preciso, recordar que la interpretación se hace bajo una rigurosa correlación de la geología con la geofísica, y con todos los datos de campo que puedan aportar criterios de interpretación y decisión.

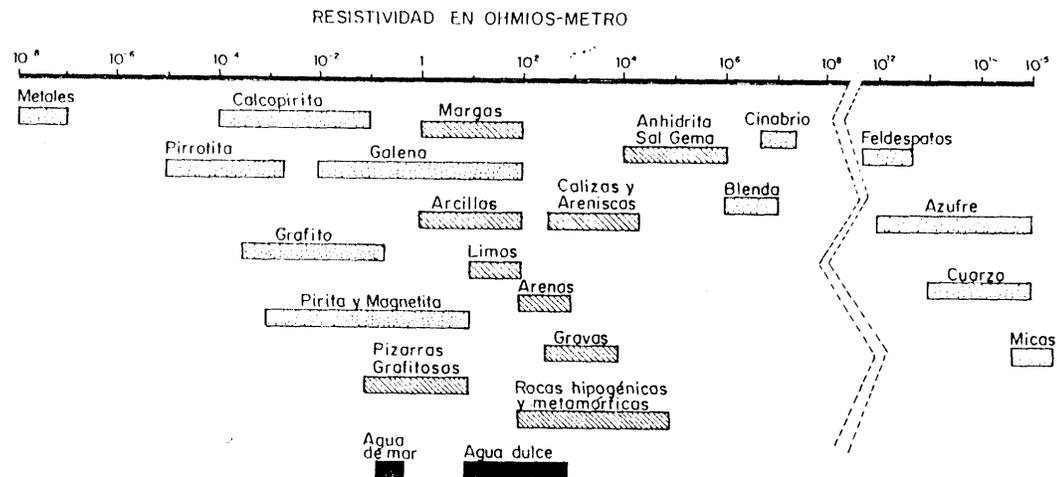
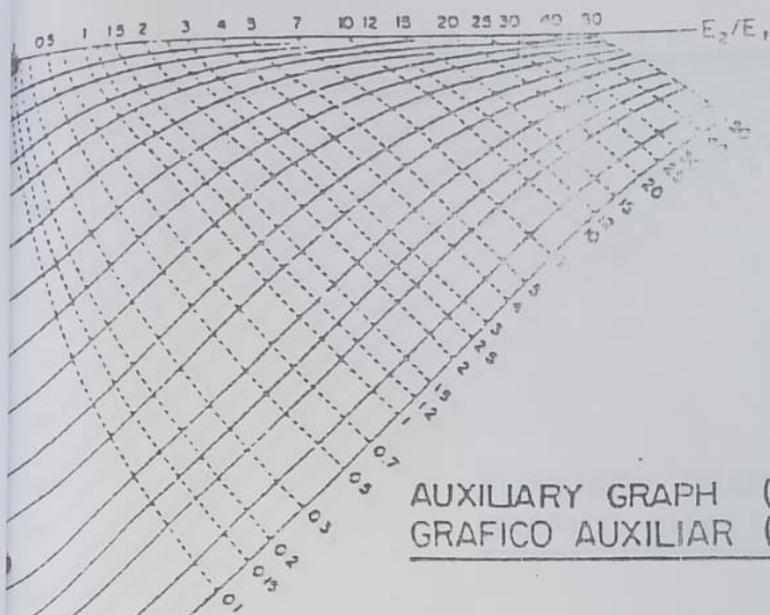


Figura 2.13. Correlación entre los distintos materiales geológicos con la resistividad de campo que se observan en los SEVs (según Orellana).

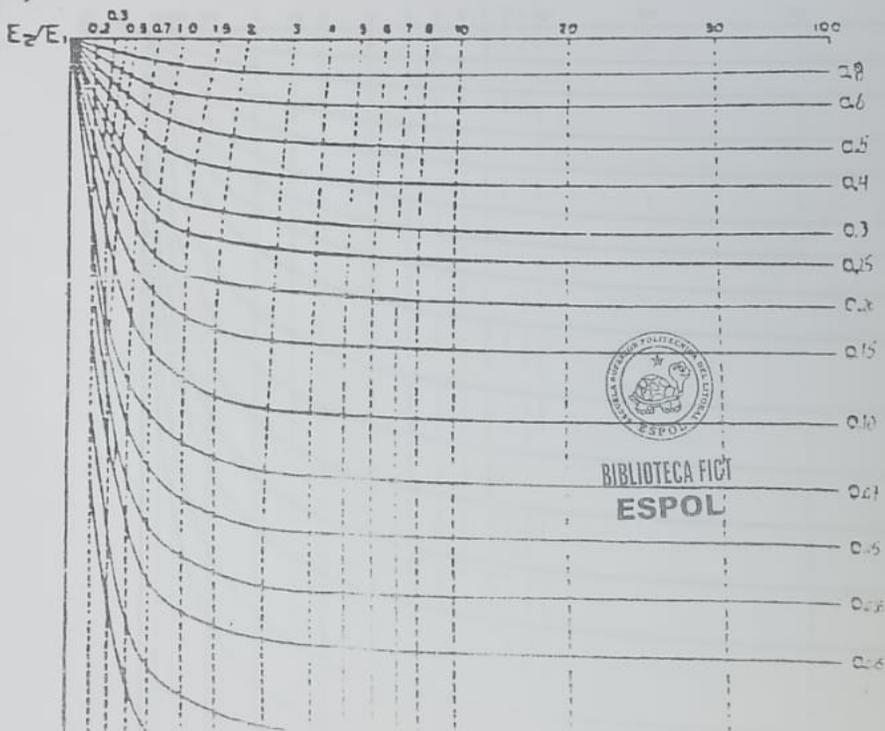
Puede observarse como hay rangos muy amplios que se traslapan para diversas características geológicas, por ello estas gráficas o tablas son una herramienta de referencia para el análisis y la decisión final.

Figura 2.14. Curvas auxiliares tipo k y Q.

AUXILIARY GRAPH (K-TYPE)
 GRAFICO AUXILIAR (TIPO-K)



AUXILIARY GRAPH (Q-TYPE)
 GRAFICO AUXILIAR (TIPO-Q)

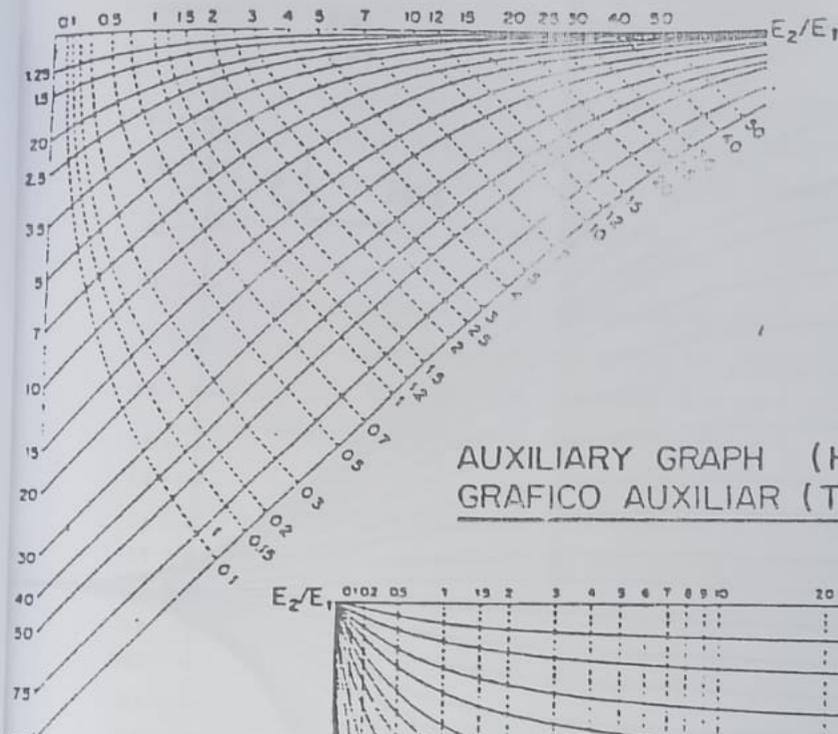


BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

Figura 2.14. Curvas auxiliares tipo k y Q.

Figura 2.15. Curvas auxiliares tipo A y H.

AUXILIARY GRAPH (A-TYPE)
 GRAFICO AUXILIAR (TIPO-A)



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

AUXILIARY GRAPH (H-TYPE)
 GRAFICO AUXILIAR (TIPO-H)

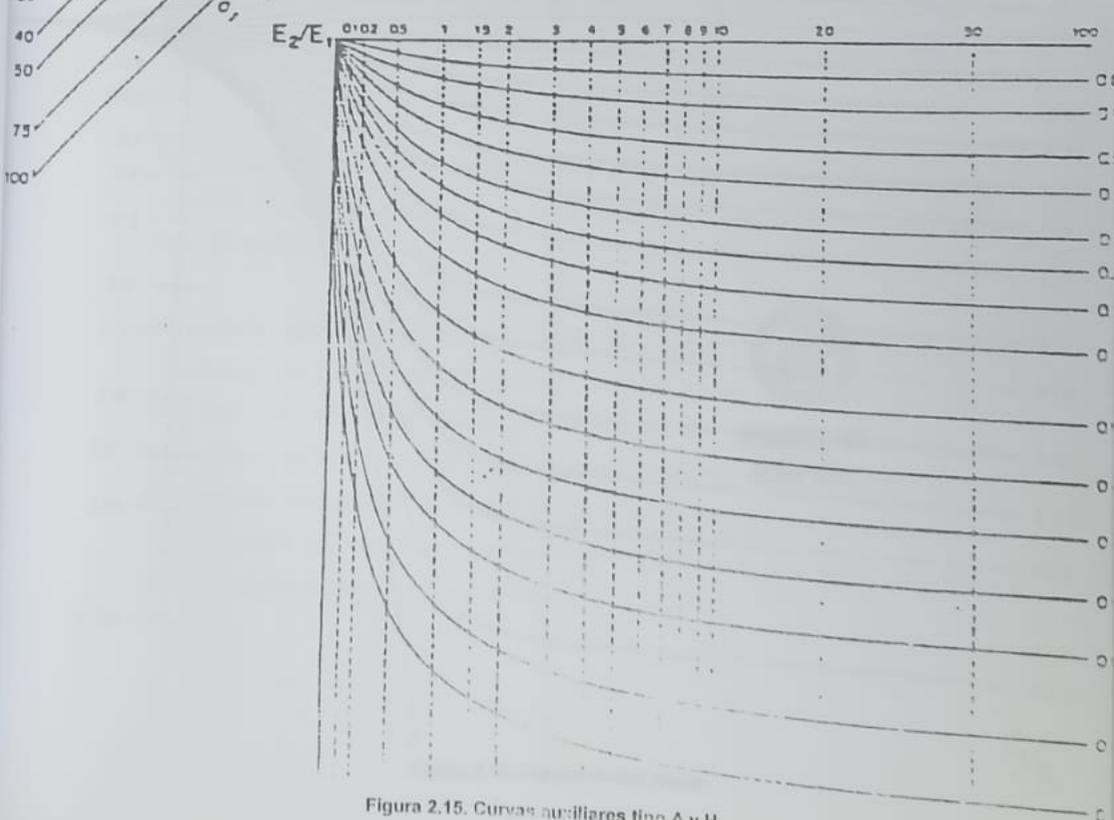


Figura 2.15. Curvas auxiliares tipo A y H.

Figura 2.16. Curvas de dos capas.

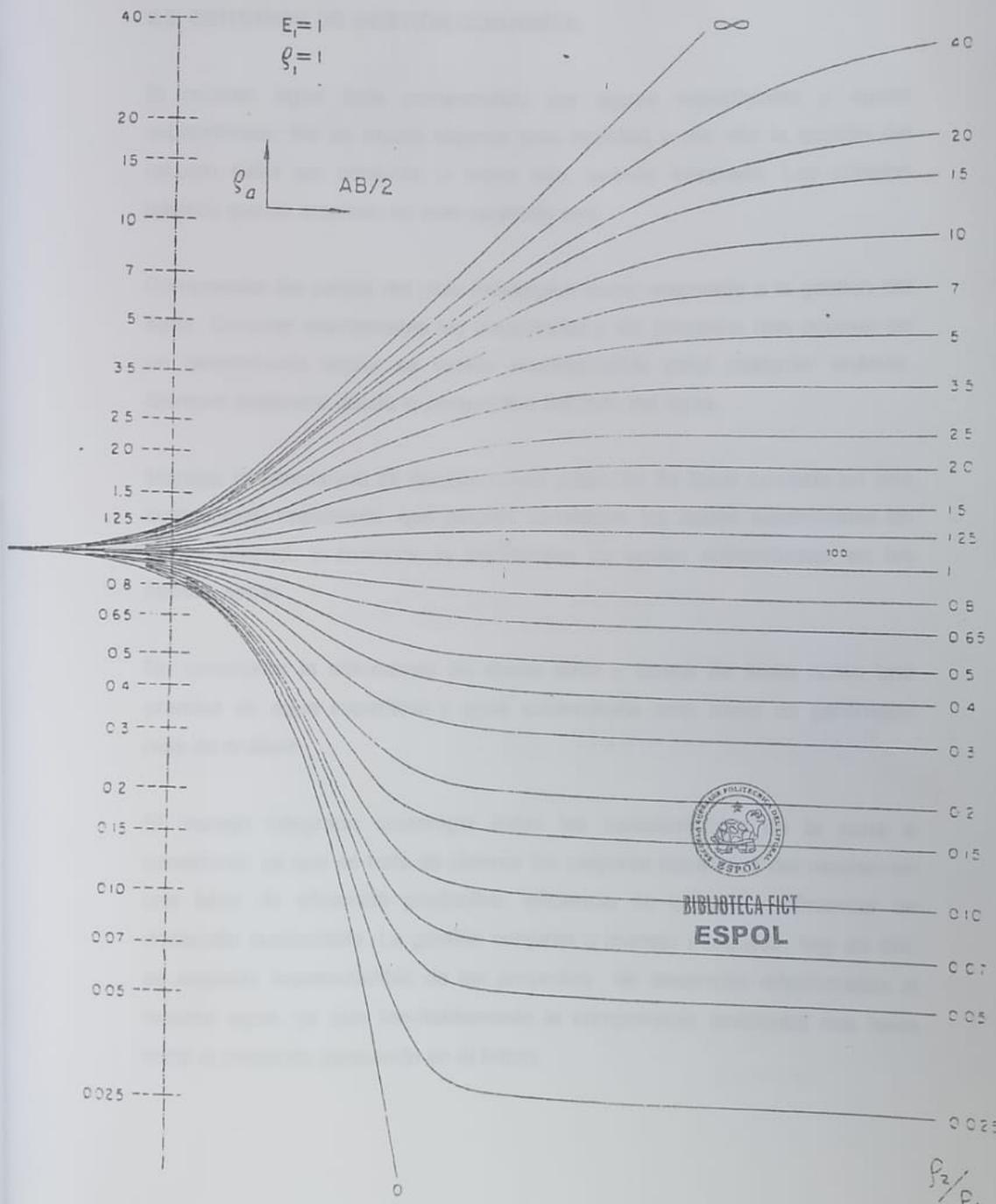


Figura 2.16. Curvas de dos capas.

2.3. CRITERIOS DE GESTIÓN CONJUNTA.

El recurso agua está comprendido por aguas superficiales y aguas subterráneas. No se puede separar esta realidad y por ello la gestión del recurso debe ser conjunta, o mejor aún, gestión integrada. Los criterios básicos que se emplean en este apartado son:

Comprender las partes del ciclo hidrológico como respuesta a la gestión del agua. Conocer exactamente las trayectorias y los procesos que ocurren en un determinado sector se vuelve imprescindible para cualquier análisis. Siempre analizado desde la perspectiva del ciclo del agua.

Manejar la alternancia de épocas secas y épocas de lluvia consiste en una componente importante, que permite considerar las aguas superficiales en época lluviosa, y controlar la explotación de aguas subterráneas en las épocas secas.

No considerar la alternancia de época seca y época de lluvia como una premisa de agua superficial y agua subterránea, sino como un parámetro más de análisis.

El manejo integrado contempla todas las características de la zona a considerar, ya que se trata de obtener los mayores beneficios del recurso en una labor de eficiencia productiva, eficiencia de calidad y eficiencia de desarrollo sustentable. La gestión conjunta o manejo integrado, hoy en día, es requisito imprescindible de los proyectos de desarrollo relacionados al recurso agua, ya que inevitablemente la componente ambiental nos hace mirar el presente, pensando en el futuro.

CAPÍTULO III.

III. INFORMACIÓN.

3.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.

El área comprendida en éste estudio se encuentra localizada en la Provincia del Guayas en el sector de la Península de Santa Elena. Aproximadamente el sector, como se puede apreciar en el mapa de la página siguiente, tiene límites:

Norte : Ciudad de Santa Elena, Juan Montalvo y con la carretera principal.

Sur : Santo Tomas y El Real.

Oeste : Carretera Santa Elena – Ancón.

Este : Comuna San Rafael.

Coordenadas del área de estudio:

515693.7560 9753261.7977.

516277.8783 9742633.0425.

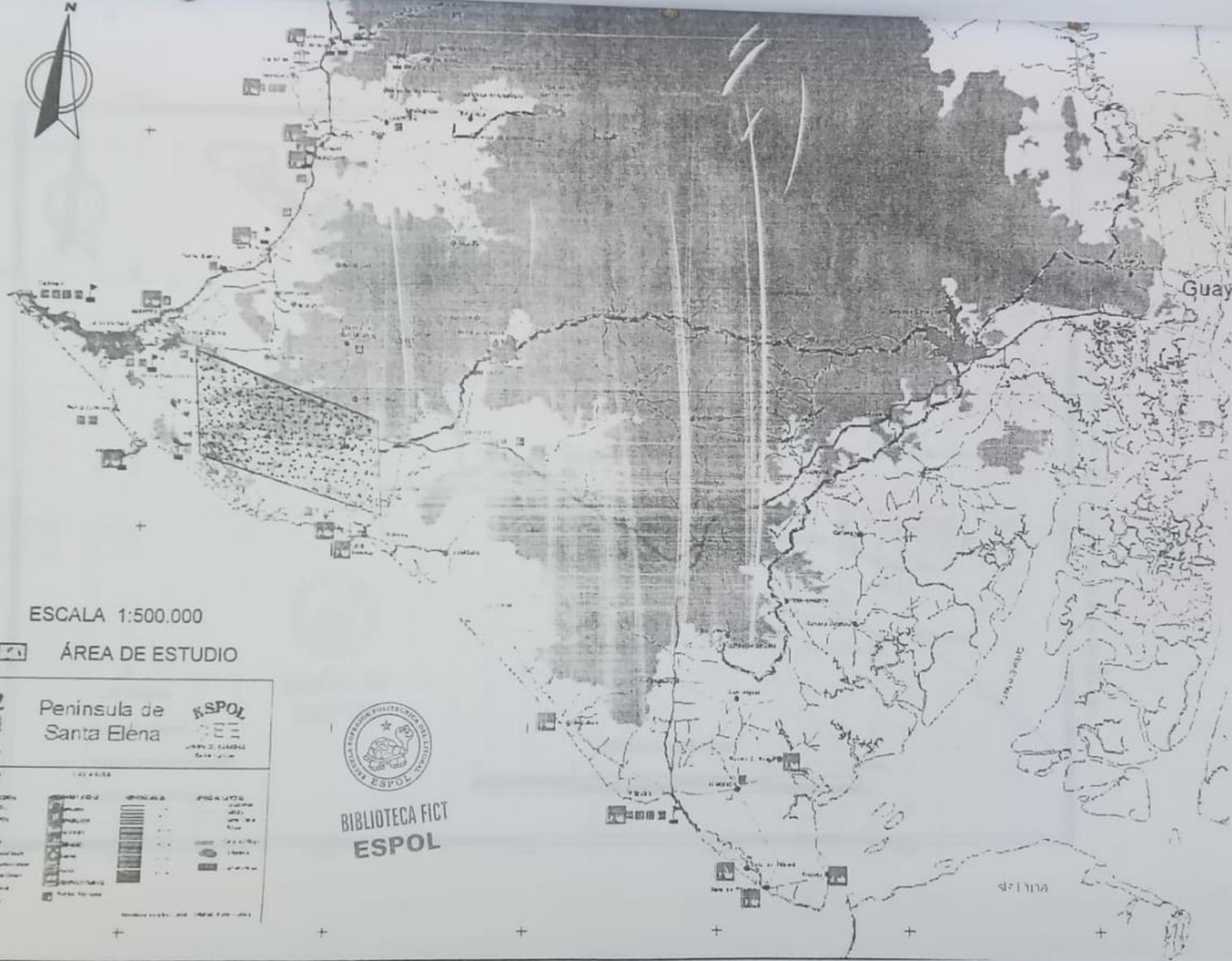
534806.8631 9736750.5034.

534252.0204 9746372.8268.

Puede observarse la ubicación del área de estudio en el **Mapa 1** y la ubicación a detalle de los sectores poblados del área de estudio en el **Mapa 2**.

Los sectores poblados más importantes localizados en el área de estudio son: El Tambo, Prosperidad, Ancón, Atahualpa, Chapucal, Recinto Río Verde, Pechiche. Manantial. La zona en estudio está caracterizado por relieves relativamente suaves comprendidos entre 20 a 100 m.s.n.m, con una morfología típica de las cuencas de depositación. Además posee un clima semiárido con una evapotranspiración mayor que las precipitaciones recibidas en la zona, por lo tanto hay una déficit en cuanto al abastecimiento de agua. Por este motivo, la gran mayoría de los ríos son de régimen veraniego, es decir intermitentes.

Mapa 1. Ubicación de la Zona de Estudio.



Guay

Mapa 1. Ubicación de la Zona de Estudio.

ESCALA 1:500.000

 **ÁREA DE ESTUDIO**

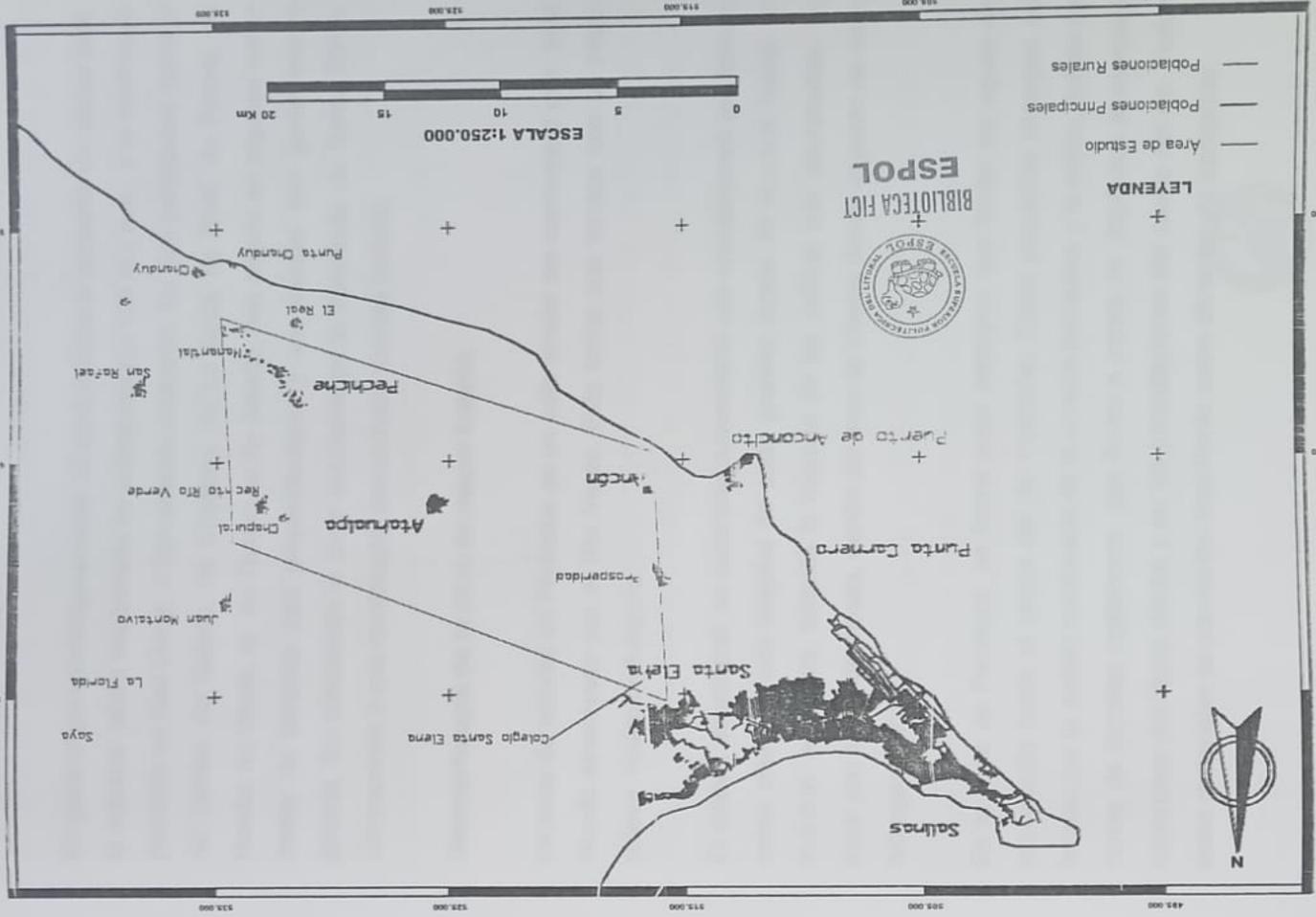
	Península de Santa Elena	
LEGENDA	LEGENDA	LEGENDA
 Zona Urbana	 Bosque	 Agua
 Carretera	 Agricultura	 1000 m
 Ferrocarril	 Pastoreo	 2000 m
 Río	 Pantano	 3000 m
 Lago	 Sotano	 4000 m
 Embalse	 Laguna seca	 5000 m
 Límite	 Bosque	 6000 m



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Mapa 2. Mapa de ubicación a detalle de la zona de estudio.

Mapa 2 Mapa de ubicación a detalle de la zona de estudio.



3.2. GEOMORFOLOGÍA.

En general geomorfológicamente la zona estudiada presenta un relieve bajo, la máxima altura encontrada no sobrepasa los 100 m.s.n.m., y la morfología presente es casi plana, o ligeramente ondulada; los ríos principales como el río Tambo, río Salado, río Engabao, río La Seca, río Real, río Perere, río Hondo, río Verde, el río Tambo, el río Salado, han dejado en algunos casos cortes de paredes casi perpendiculares y sus cauces son generalmente anchos. En conclusión la zona estudiada en la Península de Santa Elena, corresponde a una morfología denominada meseta costera.

Geomorfología de la zona de mayor interés.

La zona de estudio en Pechiche es un valle aluvial del cuaternario que está siendo atravesado por el Río Verde. Esta forma una terraza con un micro relieve rizado ondulatorio.

El relieve, en general, es recortado suavemente con ondulaciones (en formas como olas con una longitud de onda grande) desde 10 m.s.n.m hasta 70 m.s.n.m. en altitud, además la mayoría de las colinas son aterrazadas, es decir con forma de mesas, dentro del área de interés desde el punto de vista hidrogeológico.

En la zona de Pechiche, se forma estos escarpes que llevan las aguas de escorrentía hacia el cauce del río Pechiche. Estos pequeños escarpes se forman por la acción combinada de la erosión hidráulica y la eólica, típicas de zonas de litorales costaneros, que llevan a zonas de depósitos aluvionales materiales detríticos dentro y en las inmediaciones del cauce del río. Todos estos materiales se convierten importante como almacén y/o transporte.

La parte de la *Hacienda ESPOL-PECHICHE* se encuentra en la parte de derrubio cerca del Río Verde y la zona del *Museo Real alto* se encuentra en la cresta, es decir una zona de arrastre más alto y lejano al Río Verde que la Hacienda. En consecuencia, existe una zona de escarpe entre el *museo Real Alto* y el Río que se encuentra a unos 816 m de distancia.

La morfología del terreno en el *museo Real Alto* es de una zona de incisos o gargantas pequeñas que forman los escarpes dentro del área de estudio. Dichos escarpes son vías para el desalojo de las áreas más alta (en el museo 55 m.s.n.m.) hacia el río Verde (39 m.s.n.m).

3.3. RED HIDROGRÁFICA.

En toda la zona de estudio se han encontrado las siguientes cuencas hidrográficas: río Tambo, río Salado, río Engabao, río La Seca, río Real, río Perere, río Hondo, río Verde, el río El Tambo, el río Salado. De las cuales las cuencas hidrográficas más importantes en orden de interés por su densidad, ubicación y alcance, son: río Verde y el río El Tambo.

En la zona de estudio se ha determinado tres cuencas hidrográficas en la parte oeste del área de estudio: Río Engabao, El Tambo y Río Verde. Los cuales presentan similares características como las cuales: poseen el mismo orden (3°) en la escala de Strahler, ambos son intermitentes (dependen de la época de invierno o de verano), ambos poseen sus cabeceras dentro de la zona de estudio, ambos atraviesan la misma cuenca sedimentaria, es decir; atraviesan las mismas estructuras geológicas.

El sector aguas abajo del río Engabao ha sido determinado como favorable para captar aguas superficiales en forma de albarradas, debido a la morfología del sector y, además el río en este sector es anastomosado lo que ayudaría a disminuir el riesgo de fallamiento de la albarrada debido a un abrupto sobre flujo por las crecidas repentinas de los ríos en épocas veraniegas.

De igual manera, en el sector del colegio Santa Elena, la cuenca hidrográfica del río El Tambo es de 3° orden y, además su morfología es suave, presentando en los cauces de los ríos unas hondonadas de bajorrelieve, que pueden ser gestionadas y aprovechadas como zonas muy favorables para la captación de aguas superficiales en forma de albarradas.

En la zona de estudio se ha determinado la siguiente cuenca hidrográfica: Río Verde, la cual posee mayor interés hidrogeológico. El cual presenta 3° en la escala de Strahler, es intermitente (veraniego), este posee su cabecera dentro de la zona de estudio, atraviesa la cuenca sedimentaria de Progreso.

Esto puede observarse con más detalle en el **Mapa 3** de Redes Hidrográficas. Donde se encuentra delimitadas gráficamente el área drenada por cada sistema hidrográfico. Cabe indicar que esta interpretación se realizó mediante fotografías aéreas de la zona, con la consecuente corroboración de visitas de campo. Este mapa nos da una idea muy valiosa en cuanto a la posibilidades de las zonas o áreas de recarga del recurso agua. Y también nos puede ayudar a inferir cuales son las zonas que deben ser trabajadas para lograr un área de recarga artificial, si así lo requiriese las condiciones de desarrollo del sector, pero que obviamente requerirían de una análisis más profundo y más completo, basándose en sus estadios iniciales en el presente trabajo de investigación.

Mapa 3. Mapa de Redes Hidrográficas.

3.4. GEOLOGÍA.

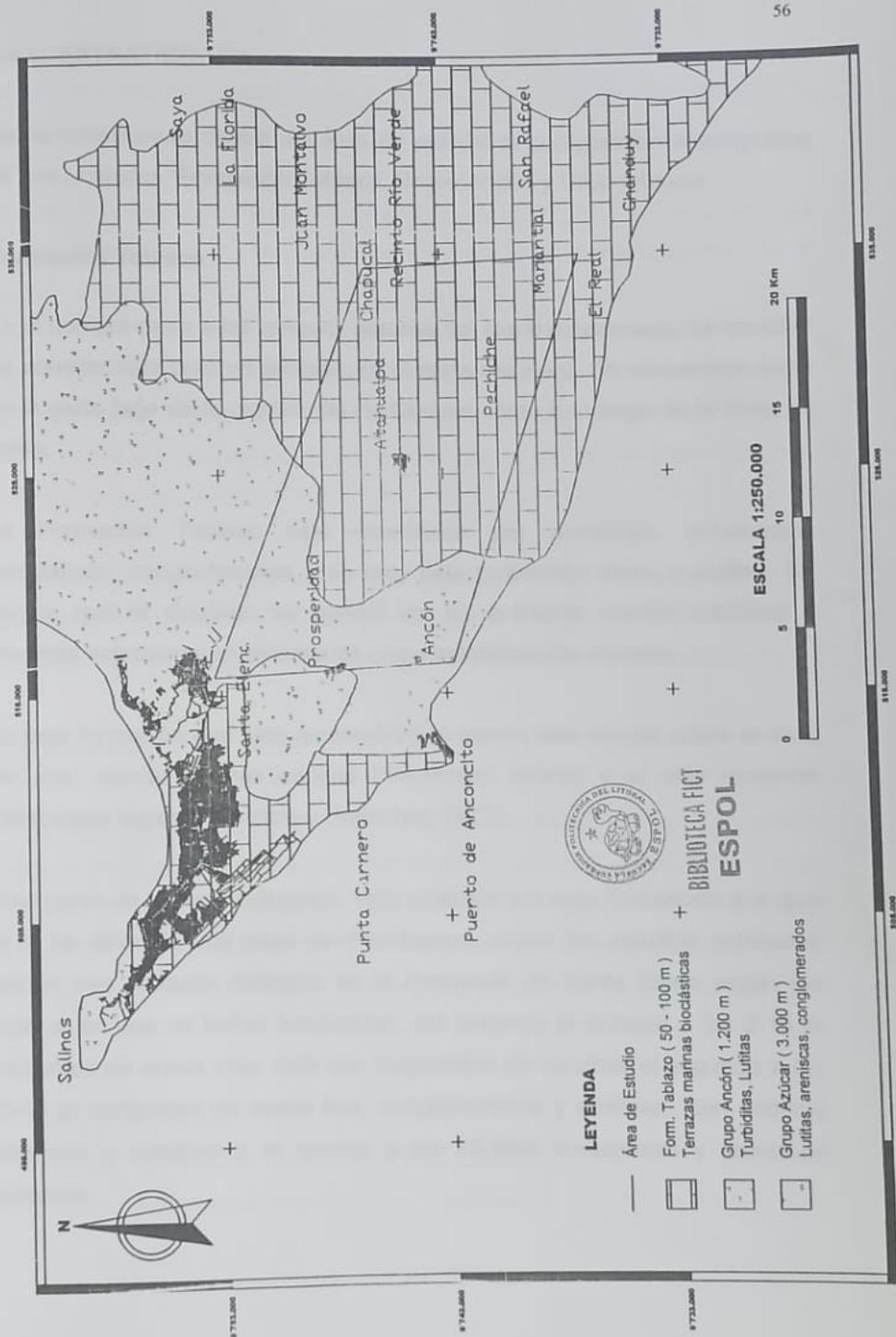
La FORMACIÓN TABLAZO, constituida por areniscas y conglomerados finos, aparentemente es la formación que contiene las mejores rocas almacén, pero su potencia no se puede asegurar con exactitud, ya que en muchos de los pozos perforados la base del Tablazo no ha sido identificada.

El área de Chapucal, Río Verde y Pechiche ha sido la más estudiada ya que, pozos para agua han sido perforados a ambos lados del Río Verde, y los pozos que son excavados a mano indican que definitivamente el agua proviene del Tablazo. Al noroeste de Juan Montalvo, también fueron perforados pozos, denominados Galicia, los cuales toman el agua de la Formación Tablazo, particularmente el pozo Galicia encontró agua a los 62.5 m de profundidad, habiéndose determinado que el agua proviene del mismo nivel del Tablazo.

En consecuencia, las rocas almacén, de las cuales puede aprovecharse el agua, están constituidas por las areniscas y conglomerados de la formación Tablazo, así como también por algunas capas de arena que están bajo el Tablazo y que podrían pertenecer al Grupo Azúcar; la potencia de los estratos Tablazo será analizada en la sección 3.4.2. de Estructuras Geológicas.

En lo que se refiere a la recarga para esta zona de Atahualpa, se ha pensado en primer lugar que está relacionada con las precipitaciones y con la escorrentía. La recarga de los acuíferos podría ocurrir principalmente por la escorrentía en los Ríos Verde, Engabado y Tambo ya que se manifiestan capas de buena porosidad y permeabilidad. Por lo que el aporte de la época invernal representa un contenido importante. Ver la geología en el **Mapa 4**.

Mapa 4. Mapa Geológico.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

LEYENDA

- Área de Estudio
-  Form. Tablazo (50 - 100 m)
-  Terrazas marinas bioclásticas
-  Grupo Ancón (1,200 m)
-  Turbiditas, Lutitas
-  Grupo Azúcar (3,000 m)
-  Lutitas, areniscas, conglomerados

3.4.1. ESTRATIGRAFÍA.

Se ha considerado dentro del área de estudio la composición estratigráfica de tres unidades: Formación Tablazo, Grupo Ancón y Grupo Azúcar.

Formación Tablazo.

Es el nombre dado a las terrazas marinas del litoral ecuatoriano, en similitud de aquellas que ocurren también en el norte del Perú. Se encuentran tanto en la parte baja de la cuenca del río Guayas como a lo largo de la línea de costa.

La Formación Tablazo está constituida por areniscas, calcarenitas bioclásticas, conglomerados y en muy baja proporción limos y arcillas. Se asume que el depósito se generó en un ambiente marino sublitoral y presenta estructuras sedimentarias como estratificación cruzada.

En esta formación han sido reconocidos al menos tres niveles sobre el nivel del mar, siendo el más antiguo Pleistoceno inferior y el más moderno Pleistoceno superior (Bristow y Hoffsetter, 1977).

Gran parte de la zona estudiada, está ocupada por esta Formación a la que se la ha atribuido una edad del Pleistoceno, según los estudios realizados existen tres tablazos definidos en la Península de Santa Elena según las cotas a las que se hallan localizadas, así tenemos el primero a los 2-10 m horizontes de arena color café con fragmentos de conchas el segundo a los 35-40 m horizontes de arena fina, conglomerática y arcillosa con nódulos calcáreos y conchas y el tercero a los 79-80m lumaquelas y areniscas calcáreas.

En general litológicamente la formación Tablazo está constituida por areniscas calcáreas y conglomerados finos, que contienen gran cantidad de mega fósiles.

Existen algunos afloramientos de éstas rocas en el área del proyecto; los cortes dejados por los ríos son representativos y están formados de la siguiente manera:

Un micro conglomerado bastante consistente en la parte superior, inmediatamente por debajo se encuentra una arenisca color café, de grano fino y medio, y a continuación se presentan las areniscas calcáreas con gran cantidad de mega fósiles.

Afloramientos de este tipo fueron localizados a lo largo del río verde, en las quebradas de Chapucal y en las quebradas al sur de la población de Atahualpa. Se ha establecido como máxima potencia del Tablazo la de 80 m.

Grupo Azúcar.

Este grupo se expone en el límite sur de la Cordillera Chongón Colonche, pero se encuentra más ampliamente difundido al sur y oeste de la cuenca Progreso, no existe establecida una secuencia estratigráfica normal, debido a la gran complejidad que presenta el conjunto, las últimas teorías diferencian tres formaciones en las que principalmente se advierte un cambio de facies (Benítez, 1995):

- Formación Estancia. Lutitas.
- Formación Chanduy o Atlanta: arenisca y arcillas.
- Formación Engabao: arenisca, lutitas y arcillas.

En general el grupo pertenece a una secuencia de areniscas turbidíticas. La secuencia se deposita en una llanura abisal y muestra facies características de abanico submarino.

La potencia determinada para este grupo está alrededor de los 2200 m.

Ampliamente estudiado en las investigaciones petrolíferas de la Península De Santa Elena, ha sido datado como de edad Eoceno Medio y Superior.

Afloramientos de rocas pertenecientes a este grupo estratigráfico han sido localizados en la parte Norte y Este de la zona estudiada.

En el sector de los Baños de San Vicente existen afloramientos de unas arcillas bastante endurecidas, que son de color habano claro, el conjunto se presenta bastante fracturado.

Al sur de la población de Saya, en el cauce del río Verde, afloran areniscas de color habano, de grano fino, el conjunto se presenta bastante alterado y fracturado. El afloramiento se presenta bastante plegado y el fuerte fracturamiento de las rocas dan indicios de fallamiento. Al Este de Juan Montalvo, en el cerro Juan Montalvo, se presenta un conglomerado de color café amarillento y café verdoso, en los cauces de los drenajes está bien cementado; el conglomerado está compuesto por rodados bien redondeados y de hasta 25 cm. de diámetro en una matriz areno- arcillosa.

Dentro de este conglomerado se presentan lentes de areniscas de color café bastante duras, similares a las anotadas en el afloramiento al sur de la población de Saya. En conclusión las rocas de Grupo Azúcar están

representadas en la zona estudiada por areniscas, conglomerados y arcillas endurecidas.

Grupo Ancón.

Se ha diferenciado dos formaciones (Núñez, 1987):

a) Formación Socorro (*la más antigua*): con los miembros Clay pebble Bed y Socorro.

- M. Clay pebble Bed: se trata de una brecha sedimentaria compuesta por fragmentos de todas las formaciones preexistentes en una matriz de arcilla. Se le estima una edad de Eoceno medio en su parte superior.
- M. Socorro: es un flysh compuesto por capas delgadas de areniscas con secuencias turbidíticas, alternante con lutitas. Presentan un contacto mecánico con el miembro subyacente. Se caracteriza por presentar gran cantidad de deslizamientos y fallas. La edad es Eoceno medio a Superior.

b) *Formación seca*: con los miembros Lutita seca y Punta Ancón.

- M. Lutita Seca: Es un flysh distal, con areniscas y lutitas que presenta facies de tipo nerítico, arrecifal y radiolaríticas (Bristow y Hoffstetter, 1977). El contacto es normal con la unidad suprayacente. La edad considerada para este miembro es de Eoceno superior.
- M. Punta Ancón: se trata de un depósito de ambiente litoral, conformado por areniscas grauváquicas, arcillas, lentes calcáreas, conglomerados ligníticos y lutitas interestratificadas, suprayaciendo en disconformidad al M. Lutita Seca. Se ha datado con una edad de Eoceno superior.

Para el todo el conjunto del Grupo Ancón se estima una potencia cercana a los 2400 m. Rocas pertenecientes al Grupo Ancón están aflorando al Oeste de la zona estudiada, y se han encontrado Lutitas silicificadas, y areniscas;

las mismas que han sido datadas como rocas pertenecientes al Eoceno superior.

Afloramientos de estas rocas fueron localizados al Norte de la población de San Vicente, donde se encuentran lutitas silicificadas de color verdoso, bastante duras y fracturadas. Mas hacia al Norte de la misma población se presentan areniscas de coloración azul verdosa, de grano fino y también areniscas de coloración café, oxidadas.

Depósitos fluviales.

Son ampliamente representados en la zona de estudio, constituyen el relleno de la planicie costera y de la cuenca del río Guayas. Litológicamente comprende conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas producto principalmente del acarreo y acumulación fluvio-lacustre que han dado lugar a la formación de terrazas aluviales, cauces y meandros abandonados.

Se presenta de modo discordante sobre el resto de las formaciones anteriores, es contemporáneo a los depósitos estuarinos, y su edad va desde la base del Holoceno hasta la actualidad.

Son materiales que han sido acarreados desde las zonas de aporte y que están formados por elementos muy variables tanto en composición como en tamaño; son arenas y rodados.

En la zona estudiada los depósitos aluviales están presentes en todos los cauces de los drenajes, siendo los más extensos los localizados en los ríos Verde, Salado y El Tambo. Encontrando que el de mayor espesor es en el río Tambo, con un espesor aproximado entre 15 a 20 m.

3.4.2. ESTRUCTURAS.

Para realizar una explicación sobre la estructura geológica del área del proyecto es necesario referirse a la estructura de la región que abarca dicha zona.

La región en estudio, se encuentra dentro de la Península de Santa Elena , la misma que esta formando parte de la llanura costera, en la cual el elemento estructural mas importante es el arco montañoso de Chongón Colonche, el mismo que es el límite norte de una amplia cuenca sedimentaria, de la cual forma parte la zona motivo de este estudio.

Esta cuenca se halla rellena de una potente serie de rocas sedimentarias las mismas que varían desde el Cretáceo Superior hasta el Reciente.

Se encuentra la Cuenca Ancón que es una cuenca más antigua que la Progreso de edad Eoceno Superior, interpretada por algunos autores como una antigua depresión que bordea el flanco sur y oeste de la cordillera Chongón Colonche, que abarca la región oeste y suroeste del bloque Azúcar-Playas, constituido por la Península de Santa Elena.

Rocas del Pleistoceno, correspondientes a la formación Tablazo, se encuentran recubriendo gran parte de la zona, y según los datos recopilados puede decirse que la potencia de estas rocas no sobrepasa los 100m de espesor. Debajo de la Formación Tablazo, se encuentran rocas de grupo Ancón al oeste y las Grupo Azúcar al Este, la potencia de estas dos formaciones es muy variable, pudiendo ambas alcanzar alrededor de los 2000 m de espesor.

En lo que respecta a la posición de los estratos se puede decir que las rocas de la Formación tablazo yacen prácticamente horizontales, habiéndose medido únicamente al Sur de la población de Atahualpa, que las capas tienen una inclinación de 10 con dirección al este. El grupo Ancón yace discordantemente sobre el Grupo Azúcar, y sus capas tienen una inclinación de 12 hacia el este.

3.5. INVESTIGACIÓN CLIMATOLÓGICA.

3.5.1. PRECIPITACIÓN.

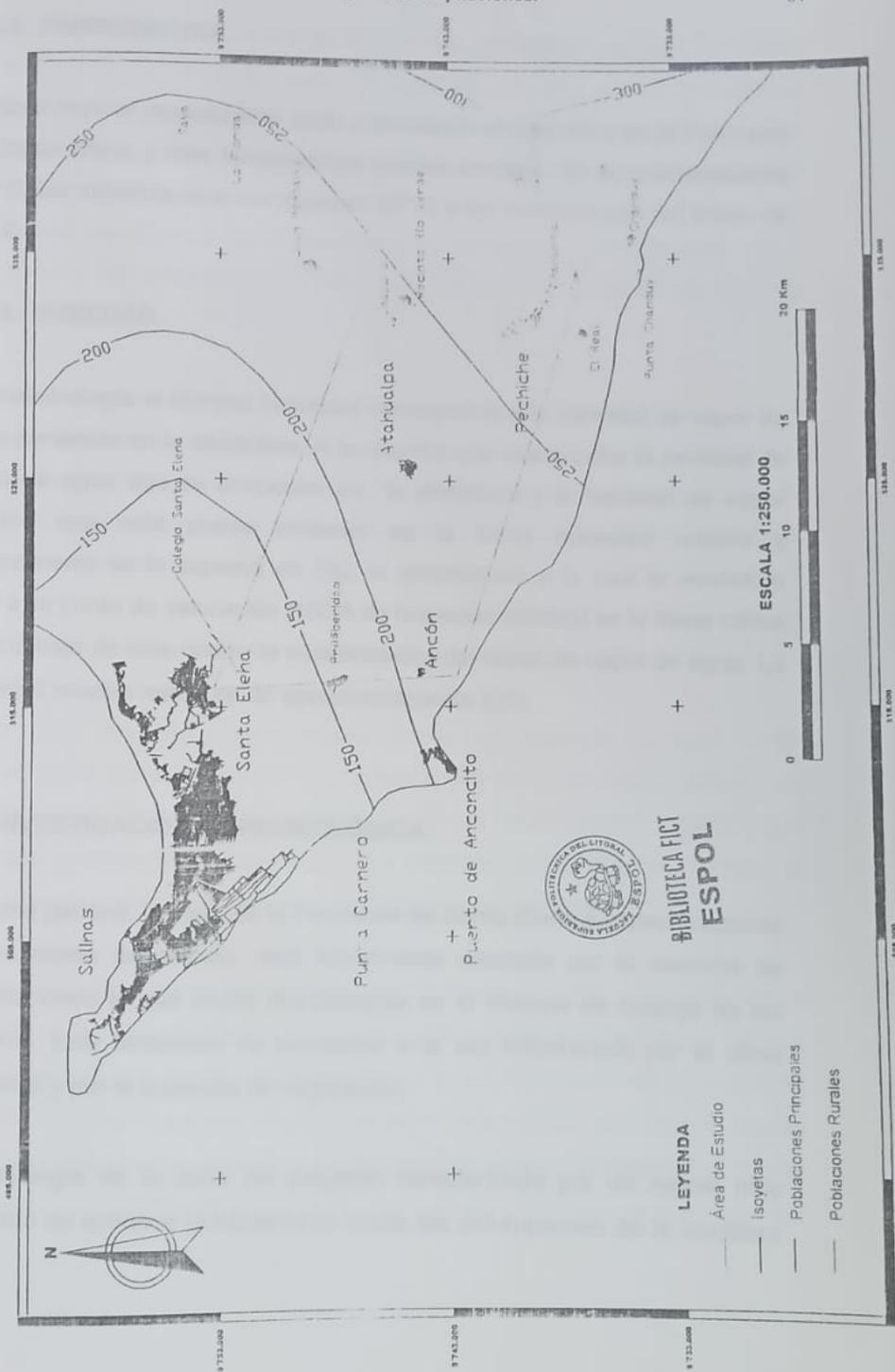
Las precipitaciones anuales están entre 200 a 300 mm y están concentradas en una sola estación lluviosa, de enero a abril. Dado el papel preponderante de la corriente fría de Humboldt, en el cabo de Salinas se observan los valores mínimos anuales de lluvias (125,5 mm) y de temperatura (23,4 o C). Entre julio y octubre, el tiempo se caracteriza por un cielo muy nubloso, neblinas y garúas sin impacto notorio en la vegetación. Principal consecuencia de las abundantes lluvias provocadas por los fenómenos El Niño que sobreviene episódicamente y que constituye por cierto la única ocasión en que reverdece el paisaje, la irregularidad interanual de las precipitaciones es excepcionalmente elevada. Esto puede observarse en el Mapa 5 obtenido de la Hoja 1 de Isoyetas Medias anuales e histogramas mensuales, del período 1964-1973. Ver **Mapa 5**.

3.5.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN.

La precipitación al año es de 470 a 509 mm y la evapotranspiración está en el rango de 405 a 475.5 lo cual indica que la cantidad de agua para infiltración y escorrentía es de 65 a 33.5 mm.

Mapa 5. Mapa de Precipitaciones.

Mapa 5. Mapa de Precipitaciones.



LEYENDA

- Área de Estudio
- Isoyetas
- Poblaciones Principales
- Poblaciones Rurales



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

3.5.3. TEMPERATURA.

El clima tropical megatérmico árido a semiárido el cual reina en la Península de Santa Elena posee temperaturas medias anuales de aproximadamente 24° C, las máximas rara vez superan 32° C y las mínimas son del orden de 16° C.

3.5.4. HUMEDAD.

En meteorología el término humedad corresponde a la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera. A la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmósfera y la cantidad de vapor máximo que esta puede contener se la llama humedad relativa y generalmente se lo expresa en (%), la temperatura a la cual la atmósfera llega a su punto de saturación (100% de humedad relativa) se le llama crítica y por debajo de esta ocurre la condensación del vapor de vapor de agua. La humedad relativa media es de aproximadamente 82%.

3.6. INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA.

En forma general, la zona de la Península de Santa Elena y específicamente el área objeto de estudio, está fuertemente afectada por la carencia de precipitaciones lo que incide directamente en el sistema de recarga de los acuíferos. Este fenómeno se encuentra a la vez influenciado por el clima árido seco y por la ausencia de vegetación.

La morfología de la zona del proyecto caracterizada por un relieve muy moderado se extiende gradualmente hasta las estribaciones de la cordillera

Chongón – Colonche, sector en el cual las precipitaciones son mayores y posiblemente la principal fuente de aportes con que cuenta el área de estudio. Se supone que el aporte de agua proveniente de las partes altas fluye a través de sus redes naturales constituidas por materiales recientes de acumulación en los cauces. Este material de acumulación se cree presenta condiciones favorables para la infiltración principalmente de la formación de cobertura (Tablazo) influenciados a lo largo de toda la Península.

En la actualidad el cauce de los Ríos denominado Río Verde, Engabao y Tambo constituye la principal fuente de captación de las aguas subterráneas mediante el sistema de bombeo, previa a la excavación de pozos someros de gran diámetro a excepción de los pozos ubicados en el sector de Chapucal, perforados mecánicamente.

Consideraciones Geológicas aplicadas a la Hidrogeología .

Las rocas almacén, de las cuales puede aprovecharse el agua, están constituidas por las areniscas y conglomerados de la formación Tablazo, así como también por algunas capas de arena que están bajo el Tablazo y que podrían pertenecer al Grupo azúcar; la potencia de los estratos Tablazo ya fue analizada en el epígrafe correspondiente a estratigrafía.

El área de la cuenca Hidrográfica del río Verde ha sido explotada desde principios de siglo. Dentro de esta zona se ha explotado la formación Tablazo y, además los depósitos detríticos aluviales que se ubican en las vegas de los ríos. Dichos depósitos aluviales están conformados por gravas, arenas limos arcillas que corresponden a las zonas de recarga efectiva en el sector, es decir, que mediante estas áreas de terrazas aluviales se alimentan las

formaciones permeables como son la formación tablazo y el Grupo Azúcar. Por otro lado se realizó un inventario de pozos en la zona lo que ha llevado a la conclusión que los estratos permeables que hidrogeológicamente aportan agua dulce a la comunidad son los depósitos aluviales y la Formación Tablazo.

El área de Chapucal ha sido la más estudiada ya que pozos para agua han sido perforados a ambos lados del Río Verde, y los pozos que son excavados a mano indican que definitivamente el agua proviene del Tablazo. En consecuencia, las rocas almacén, de las cuales puede aprovecharse el agua, están constituidas por las areniscas y conglomerados de la formación Tablazo, así como también por algunas capas de arena que están bajo el Tablazo y que podrían pertenecer al Grupo Azúcar; la potencia de los estratos Tablazo ya fue analizada en el capítulo correspondiente a estructuras geológicas. Así mismo tenemos los depósitos aluviales en Prosperidad, en el río Tambo que es el depósito que conforma el acuífero freático el cual es considerado la segunda zona de mayor interés después de Pechiche.

En lo que se refiere a la recarga para esta zona de Pechiche, se ha pensado en primer lugar que está relacionada con las precipitaciones y con la escorrentía intermitente, es decir; veraniega que cíclicamente tiene su incidencia en los acuíferos de la zona.

La recarga de los acuíferos podría ocurrir principalmente por la escorrentía en los Ríos Verde, Engabao y Tambo ya que se manifiestan capas de buena porosidad y permeabilidad. La dirección del flujo en el área de Pechiche es de Norte a Sur, dirigiéndose hacia las cotas mas baja en las riberas del río Pechiche. En forma general, la zona de la Península de Santa Elena y

específicamente el área objeto de estudio, está fuertemente afectada por la carencia de precipitaciones lo que incide directamente en el sistema de recarga de los acuíferos. Este fenómeno se encuentra a la vez influenciado por el clima árido seco y por la ausencia de vegetación.

3.6.1. FACTOR DE FORMACIÓN (F).

El factor de formación es igual a:

$$F = \rho / \rho_e$$

Donde,

ρ = resistividad del estrato (ohm-m)

ρ_e = resistividad del agua (ohm-m)

Factor de Formación de la Coquina (F. Tablazo)

$$\rho = 50$$

$$\rho_e = 3.571$$

$$F = 50 / 3.571 = 14$$

Factor de Formación de los Aluviones

$$\rho = 10$$

$$\rho_e = 3.571$$

$$F = 10 / 3.571 = 2.8$$

Este factor de formación ayuda a determinar la porosidad total del estrato de interés. Por lo cual a estos factores de formación le corresponde el 27% de porosidad total para la coquina y de 47% para los aluviones.

3.6.2. POROSIDAD.

La porosidad total puede ser definida como la relación del volumen de agua en una muestra que es igual al volumen de espacios vacíos para el volumen total de la muestra.

La porosidad eficaz es definida como el volumen de agua contenida en una roca que puede ser liberada por la acción de la gravedad para el volumen total de la muestra expresada en porcentaje. Es la porosidad total menos la capacidad de retención específica.

La porosidad total del acuífero que es la roca almacén, una arenisca con alternancias de conglomerados calcáreos de la formación Tablazo cuya porosidad determinada es de 23 -30% y la porosidad efectiva 15-22% con capacidad de retención específica del 8%.

La porosidad total de los aluviones no consolidados que se encuentran en los cauces de los ríos poseen una porosidad total del 47% y una porosidad efectiva del 40% con capacidad de retención específica del 5%.

3.6.3. COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.

El coeficiente de almacenamiento no pudo determinarse porque falta de pozos de observación (denominados piezómetros) para realizar el cálculo del coeficiente de almacenamiento del acuífero, solo se contaba con el pozo de bombeo. Ya que esta solo fue una Prueba de bombeo y no del acuífero. El coeficiente de almacenamiento es una propiedad del acuífero, y para ello se necesitan varios pozos (o al menos uno) al lado del pozo de explotación para observar su comportamiento.

3.6.4. TRANSMISIVIDAD.

Solo se ha contado con los datos del pozo de bombeo por no existir piezómetros (pozos de observación), por lo cual solo puede estimarse la transmisividad.

El coeficiente de transmisividad se calculó a partir del caudal de bombeo y de la pendiente de la recta de tiempo abatimiento, utilizando para ello la relación siguiente (Ver el cálculo en el subcapítulo 5.4 Procesamiento de datos de la Prueba de pozo):

$$T= 0.183Q/\Delta S$$

T= coeficiente de transmisividad, en m³/s/m

Q= descarga del pozo de bombeo en m³/s

ΔS= pendiente de la recta, que se expresa como la diferencia de abatimiento entre dos valores del tiempo.

El valor de la transmisividad obtenido de la prueba de bombeo 2 fue: T= 158.112 m²/día y según datos registrados en unas pruebas de bombeo por el INERHI en 1986, se encontraron alturas de abatimiento en el sector de Pechiche entre 0.40 a 3 m, lo cual determinó trasmisividades entre T =237.168 a 31.62 m²/día, todo esto me indica según la Tabla 6 una calificación estimativa de baja a media de transmisividad. Cabe indicar que este valor es una característica hidráulica que no tiene nada que ver con la importancia del acuífero para el desarrollo del sector. Ya que este acuífero o

esta zona con estas propiedades puede ser muy importante si se gestiona óptimamente el recurso agua.

Tabla 6. Calificación estimativa para diferentes valores de Transmisividad. (Tomado del libro Pozos y Acuíferos).

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.

3.6.5. PERMEABILIDAD.

La permeabilidad viene dada por la siguiente expresión:

$$T = m \cdot K$$

T= transmisividad.

m= espesor saturado del acuífero.

K= permeabilidad.

Los valores de permeabilidad obtenidos con los datos de la prueba de bombeo 2, fueron entre $K = 5.27-1.97$ m/día para espesores entre 30 a 80 m, lo cual me da una calificación estimativa de media según la valoración de la Tabla 7.

Tabla 7. Calificación estimativa para diferentes valores de permeabilidad. (Tomado del libro *Pozos y Acuíferos*).

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

3.6.6. CAUDAL DE EXPLOTACIÓN.

El caudal de explotación fue determinado mediante la realización de dos pruebas de bombeo en el pozo ubicado en el Proyecto de abono orgánico, por lo que se recomendó un caudal para esta zona de 6 l/s (21.6 m³/h), ya que para el caso de la Hacienda ESPOL-PECHICHE, según los técnicos que laboran en la hacienda, los requerimientos propios son de 125 m³/día.

En consecuencia, con el rendimiento que tiene el acuífero, el requerimiento de 125 m³/día puede ser satisfecho en alrededor de 6 horas diarias de bombeo.

CAPÍTULO IV.

IV. TRABAJO DE CAMPO.

4.1 COMPROBACIONES DE CAMPO.

Como parte de las comprobaciones de campo realizadas se hizo columnas estratigráficas levantadas en los cauces de los ríos Verde y El Tambo, para correlacionar con los posteriores trabajos geoeléctricos realizados, con el uso de los cortes geológicos y cortes geoeléctricos para cada lugar.

Se ubicó afloramientos de coquina que es la roca perteneciente a la Formación Tablazo, la cual es la formación con mayor interés hidrogeológico.

A continuación se presenta una tabla con las coordenadas de los afloramientos localizados y una descripción de cada uno de ellos:

Afloramiento 1: se localiza en el Barrio 9 de Octubre un afloramiento de la formación Tablazo, que es la formación de mayor interés por las características litológicas de la roca, que cuenta con mejores propiedades para almacenar el agua. Con una potencia de 10 m.

Afloramiento 2: afloramiento ubicado en el Barrio Simón Bolívar, perteneciente al sector de Pechiche.

Afloramiento 3: ubicado en el cauce del río Verde en el Proyecto de Abono Orgánico que desarrolla el Proyecto de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE).

Afloramiento 4: ubicado en Chapucal en el cauce del río Verde.

Afloramiento 5: entrada de Atahualpa.

Tabla 8. - Ubicación de Afloramientos.

Afloramientos.	X	Y	Altura.
1	532138	9739618	25
2	532559	9739052	29
3	531581	9741076	43.89
4	532847	9744767	58
5	526905	9748177	65

A continuación se puede observar fotos donde se muestra la roca de interés y también puede observarse la toma de datos para la realización de las columnas estratigráficas en el campo.

Las columnas estratigráficas realizadas en el estudio, se muestran a continuación en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3, estas columnas fueron realizadas en el Proyecto de la ESPOL en Pechiche, en el Museo Real Alto y en Atahualpa. Además se realizó la identificación de 3 manantiales importantes ubicados en las zonas de Pechiche, Atahualpa y Prosperidad. Puede observarse en la foto 3 el levantamiento de la columna cerca del manantial de Pechiche.

Puede observarse en el mapa a continuación la ubicación de los afloramientos y manantiales encontrados, además se presenta la ubicación de los sondeos realizados en toda el área de estudio.



Foto 1. Conglomerado calcáreo con microfósiles.



Foto 2. -Conglomerado calcáreo con megafósiles.



Foto 3. Realización de la Columna geológica en Pechiche, cerca del manantial.



Foto 4. Afloramiento de coquina.

Además se realizó la ubicación de algunos manantiales los cuales indicaremos a continuación su localización:

Manantial 1: Ubicado en Prosperidad muy cercano al campamento minero Tigre.

Manantial 2: Ubicado en el Proyecto de Abono Orgánico que desarrolla el Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE) de la ESPOL, en Pechiche.

Manantial 3: Ubicado a la entrada de Atahualpa.

Tabla 9. Ubicación de los manantiales.

Manantiales.	X	Y	COTA.
1	520508	9746865	20
2	531582	9741078	30
3	526905	9748177	52

Así mismo se ubicaron manantiales en los meses de época de estiaje en el río Verde y en el Tambo en especial en las Zonas de Pechiche y Prosperidad respectivamente, como consecuencia de la descarga natural del acuífero para alimentar de agua al río.



Foto 5. Manantial 1, ubicado en Prosperidad.

Como parte de las comprobaciones de campo se realizó el inventario para poder observar la variación de los niveles freáticos, la variación de caudal, salinidad del agua en los diferentes pozos, como parte del análisis de los acuíferos de interés en el área de estudio, este análisis se llevará a continuación en el siguiente capítulo.

Ver en la página a continuación el Mapa 6, de ubicación de Manantiales y Afloramientos.

Coordenadas 531581 9741076 Cota :144ft-43.89m

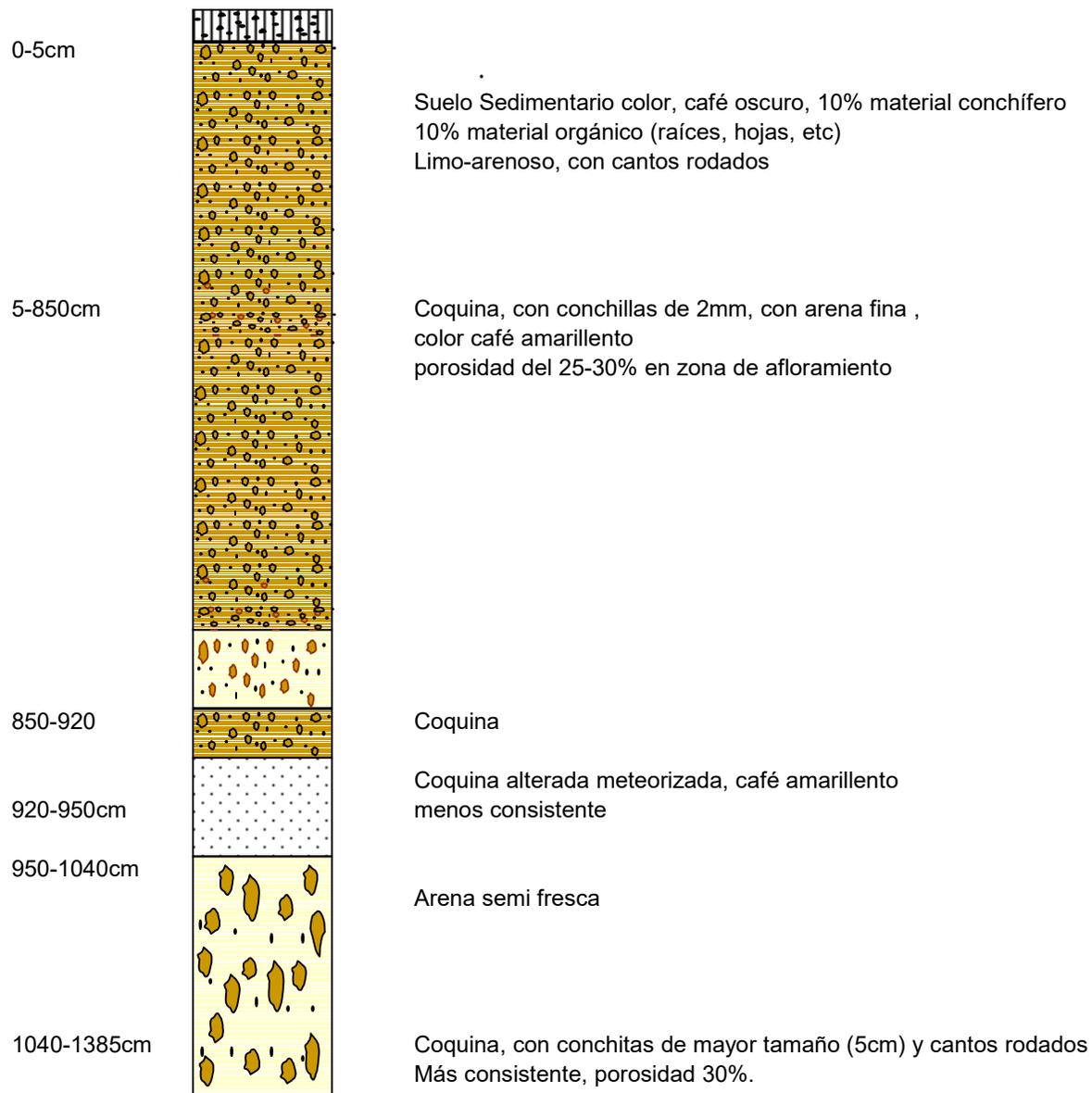


Figura 4.1 Columna realizada en el Proyecto de Abono Orgánico.

Coordenadas: 532854 9738080 Cota: 55 m

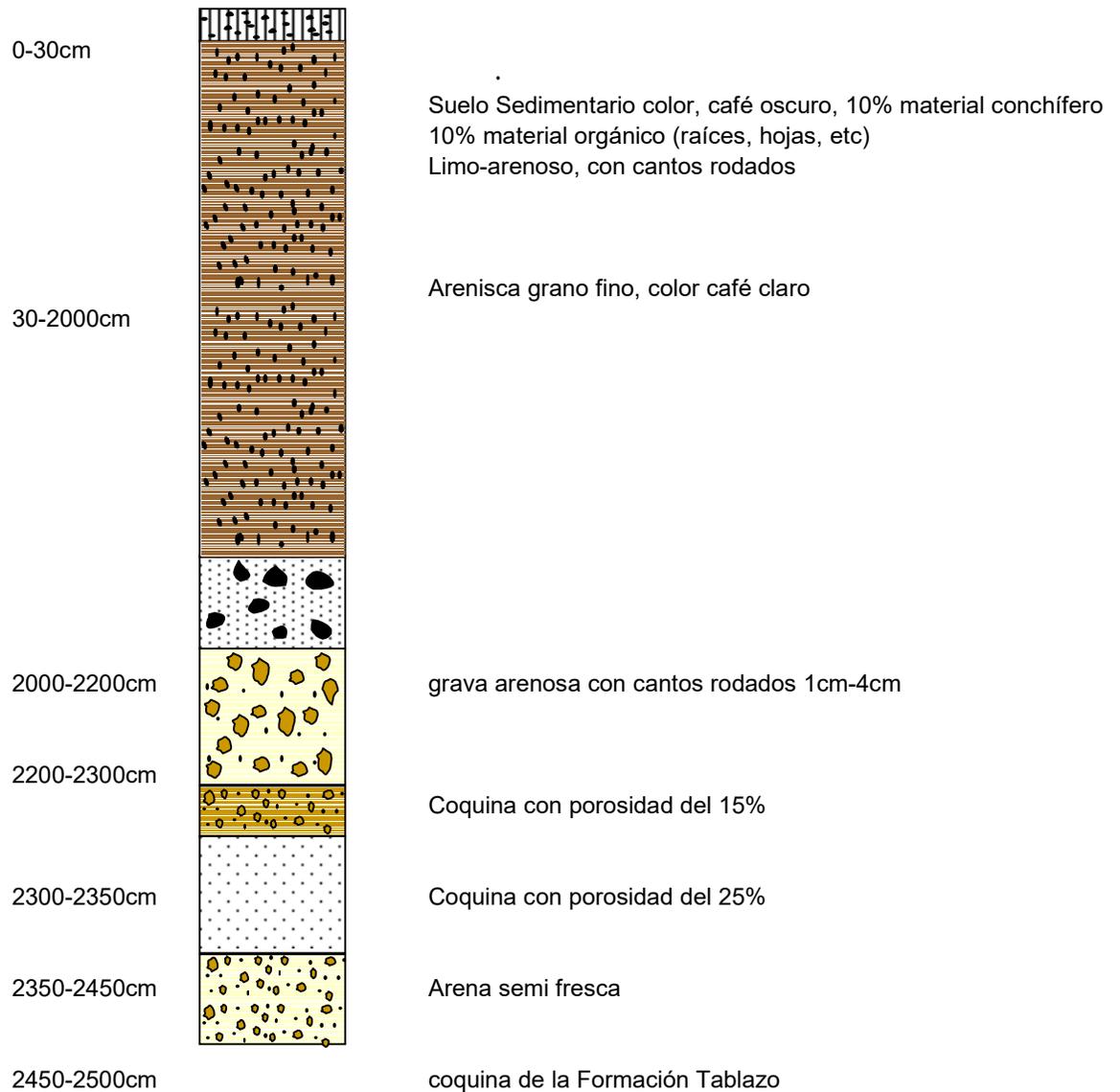
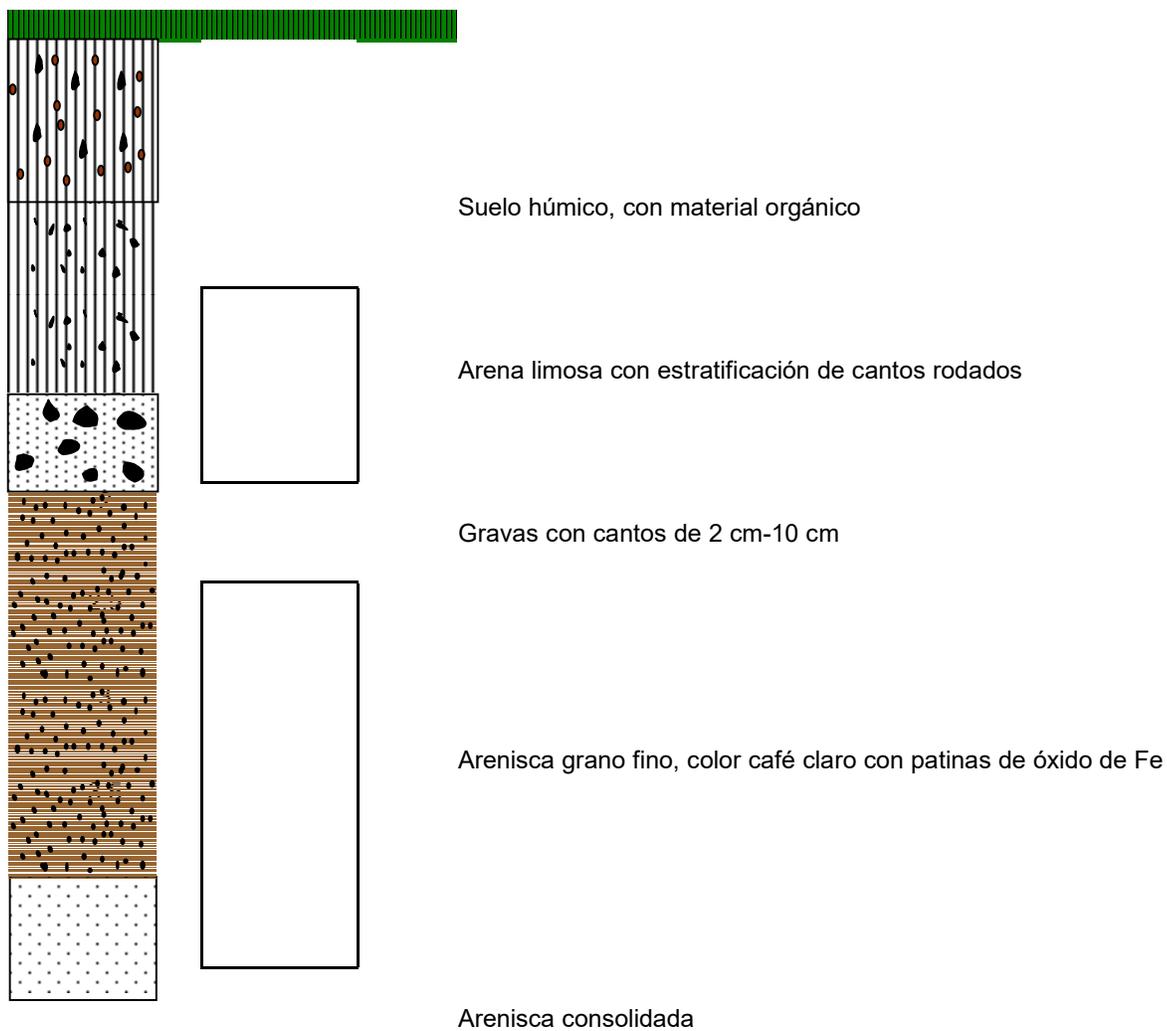


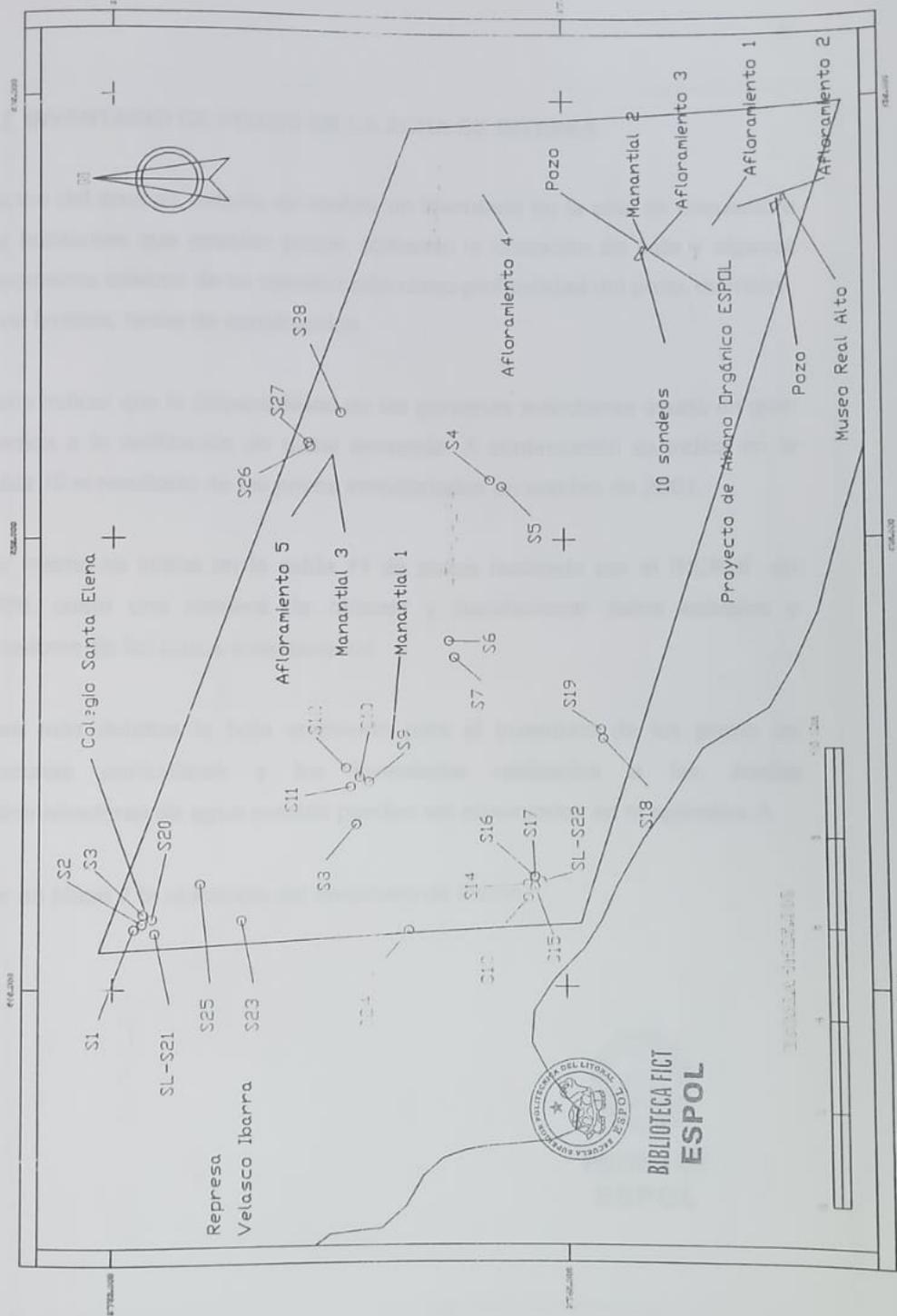
Figura 4.2 Columna Estratigráfica realizada en el Museo Real Alto.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

Profundidades



Mapa 6. Ubicación de manantiales, afloramientos y sondeos realizados



4.2 INVENTARIO DE POZOS EN LA ZONA DE INTERÉS.

Dentro del área de estudio se realizó un inventario en la cual se encuestó a los habitantes que poseían pozos, tomando la ubicación de este y algunos parámetros básicos de su construcción como profundidad del pozo, diámetro, nivel freático, fecha de construcción.

Cabe indicar que la disponibilidad de las personas autóctonas ayudó en gran medida a la realización de dicha encuesta. A continuación se indica en la **tabla 10** el resultado de los pozos inventariados en octubre de 2001.

Así mismo se indica en la **tabla 11** de pozos realizado por el INERHI en 1986, como una manera de obtener y correlacionar datos actuales y anteriores de los pozos inventariados.

Para más detalles la hoja empleada para el inventario de los pozos de personas particulares y los inventarios realizados a las Juntas Administradoras de agua potable pueden ser observados en el apéndice A.

Ver en Mapa 7 la ubicación del inventario de Pozos.

Mapa 7. Ubicación de inventarios de pozos.

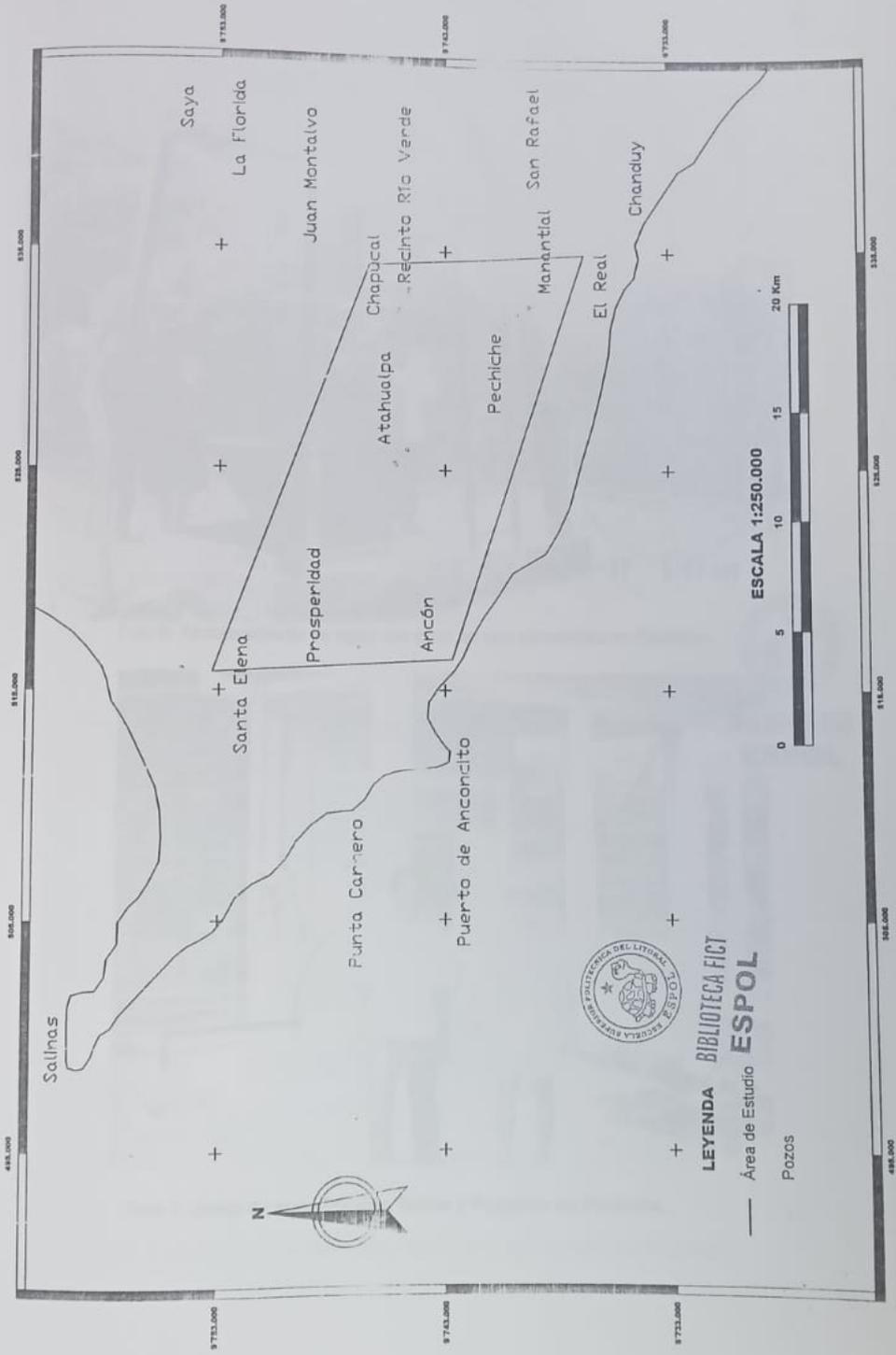




Foto 6. Abastecimiento de agua con pozo de una comunidad en Pechiche.



Foto 7. Junta de agua Potable Unión y Progreso en Pechiche.



Foto 8. Pozo con bomba manual ubicado en Atahualpa.



Foto 9. Pozo ubicado en Atahualpa, usado para abastecimiento de ganado.



Foto 10. Reservorio de agua ubicado muy cercano al río, para abastecimiento personal.



Foto 11. Tanque elevado para almacenamiento de la Junta de Agua Potable de Simón Bolívar.



Foto 12. Sistema de cloración usado en las Juntas de agua Potable.



Foto 13. Tanque de almacenamiento empleado en comunidades más pequeñas.

**Tabla 10. Inventario de Pozos en el Área de Estudio.
(Octubre de 2001).**

PROPIETARIO	COORDENADAS		ALTURA m	BARRIO	PROFUNDIDAD DEL POZO(m)	DIAMETRO DEL POZO(m)	NIVEL DEL AGUA (m)	FECHA DE CONSTRUCCION	BOMBA	
	X	Y							HP	PULG.
	516911	9746846	47	Prosperidad	3.20	1*1	3.10			
Pozo sin uso	515981	9754622	65	Santa Elena						
	525206	9745212	54	Atahualpa	9.6	1.30	7.9			
	525328	9745259	56	Atahualpa	11	1.30*1.30	7.9	1977		
	525930	9744707	60	Atahualpa	6.25	1	6.10			
	532847	9744767	58	Chapucal	8.60	1.80*1.80	4.5			
Se abastece Ancón hace 3 meses	532129	9745147	87	Chapucal	50	8"	22			
	532344	9745066	80	Chapucal						
	533196	9744673	74	Río Verde	9.70	4	4.50			
Manuel González	533269	9744602	67	Río Verde	14	2.10	3.70	1990	16	
	533041	9744653	51	Río Verde	7	2*2	5.30			
Sr. Demencio Villon	531701	9740211	43	Pechiche - 12 de Octubre	6	2,20	2,10	1991		
Sr. Crisogilo Villon	531927	9740100	41	Pechiche - 12 de Octubre	6.2	3	2	1986	9	3
Sr. Norberto Rodríguez	532156	9739767	49	Pechiche - Las Peñas	11	3*5	3.7	1970	9	3
Sr. William Dominguez	532102	9739781	43	Pechiche - Las Peñas	10.3	5*2,7	3	1970	10	3
Sr. Alcívar Cruz	532352	9739287	47	Pechiche - 3 de Noviembre	9.5	3*3	5	1979	10	3
Sr. Alcívar Cruz	532497	9739306	58	Pechiche - 3 de Noviembre	9.5	3*3	5	1979	10	3
Sra. Clara Benavé	532412	9739166	46	Pechiche - 10 de Agosto	7	3	4	1981		
Sr. Equimedes Benavé	532547	9739194	41	Pechiche - 10 de agosto	7	1.3	5	1979		
Junta Administradora de Agua	531463	9740633	55	Pechiche - Eloy alfaro	35	6"	5	1999	5	2
Junta Administradora de Agua	533497	9738018	32	Pechiche - Simón Bolívar	23	5"	3	1998	3	2
Junta Administradora de Agua	532572	9738959	44	Pechiche - 9 de Octubre	28	6"	6	1987	5	2

Tabla 11. Inventario de los pozos en la zona de Pechiche (realizado por el INERHI en 1986).

Propietario	Coordenadas		BARRIO	PROFUNDIDAD DEL POZO	NIVEL DEL AGUA	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	CAUDAL DE EXPLOTACIÓN	TIPO DE POZO	UBICACIÓN
	X	Y							
P1	5347E	97375N	Manantial viejo	38	8.06	Nov-86	3,5-4l/s	Pozo de exploración	
P2	5353	97408	9 de Octubre	50	31.02	Nov-86	0,5l/s	Pozo de exploración	3,5Km al este de pechiche
P3	5319	97401	1 de Mayo	20	8.6	Nov-86	1l/s	Pozo de exploración	300m a el este de Barrio 1 de Mayo
P4	5303	97400	1 de Mayo	38	18.35	Nov-86	0,6-1,5l/s	Pozo de exploración	350m a el oeste de Barrio 1 de Mayo
P5	52265	97413	Pechiche	38	19.4	Nov-86	1-1,5l/s	Pozo de exploración	1 Km al NE de Pechiche
P6	5342	97446	Río Verde	42	19.4	Nov-86		Pozo de exploración	1,2 Km al NE de Río Verde
P7	5330	97440	Río Verde	52	31.6	Nov-86	1-1,5l/s	Pozo de exploración	500m al sur del Recinto Río Verde

Hoja para la realización del Inventario de Pozos.

Ubicación:.....
 Propietario:.....

TIPO DE SISTEMA

Sistema de punto único
 Fuente de agua pública
 Conexiones domiciliarias
 Caseta.....
 Equipos de desinfección:
 Tanques de almacenamiento:
 Redes de distribución:
 Calidad del agua:
 Número de usuarios:.....
 Usos principales del agua:.....
 Estado actual:.....
 Mantenimiento:
 Operación:
 Organismos donantes:.....
 Inversión inicial:.....
 Gastos de mantenimiento:

POZO

Tipo de construcción:

Pozo cavado manualmente Pozos perforados

Tipo de revestimiento:

- Anillos de cemento premoldeados

Diámetro: Espesor: Altura:

- Cemento con piedra

Tipo de filtro:.....

Diámetro y Profundidad del pozo:..... Nivel del agua.....

TIPO DE EXTRACCIÓN

Con cubos de agua _____ Bomba manual _____
 Bomba eléctrica _____ Bomba con combustible _____

Datos técnicos de la bomba:

Caudal extraído:..... Horas de funcionamiento:.....

Observaciones:.....

INVENTARIO EN LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA. UNION Y PROGRESO.

Encargada Sra. Elena Torres.

Ubicación Del Pozo	COORDENADAS		ALTURA	BARRIO
	X	Y		
	531463	9740633	55	Eloy Alfaro

Ubicación del Tanque elevado	COORDENADAS		ALTURA	BARRIO
	X	Y		
	531200	9740268	67	1 de Mayo
Abastece a los barrios:	Eloy Alfaro 1 de Mayo 12 de Octubre			

Convenio:	FASBASE	MIDUVI	Comuna de Pechiche	Municipio de Santa Elena
Fecha de construcción	1999			
Inversión realizada	650' 000,000 sucres		Energía	1775000.00
	26000dólares			Valor de enero del 2001

Usuarios primeros	162	Tarifa a cobrar en 1998	1.5
Usuarios actuales	149	Tarifa actual	2
Usuarios planificados	220		

Pozo			
Profundidad	35m		
Diámetro	6'	tubo de acero	filtro galvanizado

Tanque de hormigon armado	100m3		
Tuberías de pvc	50mm	800m	
Tablero de Control Electrico			
Dosificador Plastico Color azul	tipo	IEOS	250lt
Equipo Cloril	110volt		
Deposito de plastico color azul para cl liquido		250lt	
Caseta	10*10m2		
Bomba	5hp	Franklin Electric	Horas de bombeo
Tubería	2'		Bombeo
			descansa
			04:30
			01:30
			01:30

Observaciones La comunidad de este sector esta actualmente realizando la solicitud para la construcción de un nuevo pozo. Con las siguientes características.

Pozo que solicitan	Diámetro	8'
	Bomba	7hp

INVENTARIO EN LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE.

Ubicación del	COORDENADAS		ALTUR A	BARRIO
	X	Y		
Pozo	533497	9738018	32	Simón Bolívar

Ubicación del	COORDENADAS		ALTUR A	BARRIO
	X	Y		
Tanque elevado	533322	9737769	42m	Simón Bolívar

Abastece al barrio: Simón Bolívar

Convenio: FASBASE MIDUVI Comuna de Pechiche Municipio de Sta. Elena
 Fecha de construcción del pozo 1998
 Fecha de construcción del tanque elevado 1999

Horas de bombeo 02:30
 En este tiempo se llena el tanque elevado

Bomba 3hp
 tubería 2'
 Franklin Electric

Tanque de hormigon armado
 tuberías de pvc 50mm 800m

Pozo
 Profundidad 20-23m
 diametro 5'
 nivel de agua 3m

tarifa actual 2

costo de realización del Tanque elevado 275'450.209 sucres
 11018.0083USD

INVENTARIO EN LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE.

Encargado	Sr.Leoncio Villón		
Ubicación del Pozo	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	
	532572	9738959	449 de octubre

Ubicación del Tanque elevado	COORDENADAS		ALTURA
	X	Y	
	532187	9738800	539 de octubre

Abastece a los barrios:	Peñas 3 de Noviembre 10 de agosto 9 de Octubre Roldos aguilera El Real
Convenio:	IEOS
Fecha de construccion	1987
Inversión inicial	5'371,060 sucres
Usuarios Totales	294
Usuarios de El Real	120
Usuarios de Pechiche	174

Caudal de bombeo	2l/s	Bomba tubería	5hp 2'
Tanque de hormigon armado	Pozo	Profundidad	28m
		diametro	6'
tarifa actual	1,5USD	nivel de agua	6m

Existe un pozo que no se usa por problemas de arenas durante su bombeo

Con las siguientes características:

Pozo	
Profundidad	28m
diametro	6'

Nota: en este año se adquirió la bomba sumergible de 5 hp y un tablero de control en 3800 USD

Se localiza en el Barrio 9 de Octubre un afloramiento de la formación Tablazo

Con un espesor de 10m

con las siguientes coordenadas:

X	Y	Altura
532559	9739052	29

4.3 INVENTARIO DE ALBARRADAS.

A continuación se indica por medio de la siguiente tabla algunas de las albardas encontradas en el sector de nuestro estudio, este inventario fue un Proyecto realizado en el año 2001 por el Programa para el Desarrollo de la Península de Santa Elena.



Foto 14. Albarrada ubicada en Prosperidad.

A continuación en una tabla se resume el inventario de albardas, las mismas que se señalan en el mapa 8 la ubicación gráfica de las albardas mencionadas.

Tabla 12. Inventario de Albarradas.

Nombre del Sector	Nombre de la Albarrada	Clase	Coordenada en X	Coordenada en Y
Manantial	Enyamuco	Albarrada	533572	9735557
Manantial	Mealeche	Albarrada	534703	9737029
Manantial	La Chingada	Albarrada	534269	9737097
Manantial	Del Guasango	Albarrada	534465	9737542
El Real	Cantagallo	En uso	530987	9737921
El Real	Cuyuye	En uso	530993	9736725
El Real	Rio La Tintina	Tape esta roto	530531	9736719
El Real	La Simona	Albarrada esta roto el muro	531587	9736675
Pechiche	Represa en el B. Eloy Alfaro	Tape realizado por el Municipio	531090	9740875
Pechiche	La Sequita 1. B. 12 de Octubre	Albarrada	531660	9739991
Pechiche	Tape rio Real	Tape realizado por Municipio	531456	9739307
Pechiche	La Sequita 2. B. Simón Bolívar	Albarrada en buen estado	532895	9738464
Pechiche	Tape las Peñas	Tape esta roto	532397	9739509
Pechiche	Candelario Villón	Albarrada en uso, muy chica	531938	9739295
Rio Verde	Albarrada del Sur	Albarrada	533068	9744269
Rio Verde	Albarrada del Norte	Albarrada	533036	9745535
Saya	Saya	En uso	539929	9754134
Saya	La Florida	En uso	539708	9753389
Juan Montalvo	Juan Montalvo	Albarrada	533796	9748432
Prosperidad	Albarrada Principal	Albarrada	517213	9746942
El Tambo	El Tambo	Albarrada	516098	9747609
San Vicente	El Encanto	Albarrada	526608	9752782

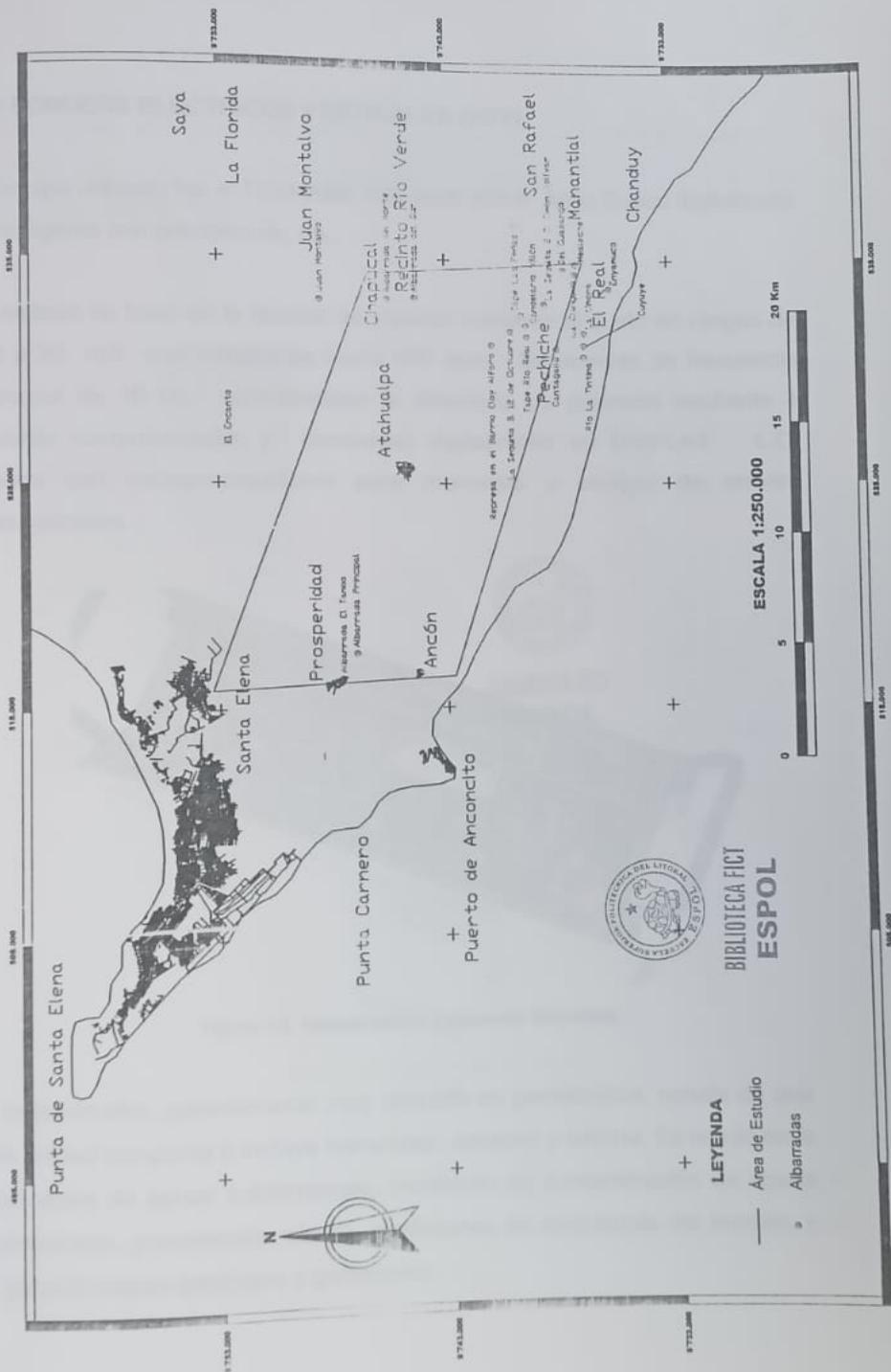


Sectores dentro del área de estudio.



Sectores cercanos al área de estudio.

Mapa 8. Ubicación de inventarios de albarradas.



4.4 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV).

El equipo utilizado fue el TERRAMETER SAS 300-B Atlas Copco digitalizado e inteligente con precisión de 1%.

El método se basa en la técnica de inyectar corriente al suelo en rangos de 0.5 a 20 mA con voltajes de hasta 600 volts. En dominio de frecuencia menores de 16 Hz, obteniéndose la diferencia de potencial mediante 4 lecturas computarizadas y mostradas digitalmente en DISPLAY L.C. dotada con microprocesadores para memorias y códigos de errores operacionales.



Figura 4.3 Resistivímetro Terrameter SAS-300B.

El resistivímetro, generalmente muy utilizado en geoelectrica, consta de una sola unidad compacta e incluye transmisor, receptor y batería. Es usado en la exploración de aguas subterráneas, monitoreo de contaminación de aguas subterráneas, prospección minera, mediciones de resistencia del terreno, y en general mapeo geológico y geotécnico.

Hay varias opciones incluyendo: Amplificador de Potencia, electrodos, cables, juegos de cables para conjuntos Schlumberger o Wenner y software de interpretación de datos.



Figura 4.4 Carrete metálico móvil para bobinar el cable.



Figura 4.5 Electrodo de acero puntiagudo.

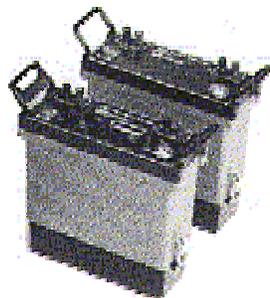


Figura 4.6 Amplificador de potencia SAS.

El sondeo eléctrico es un intervalo a profundidad de lecturas a diferentes aberturas de 2 electrodos de inyección de corriente (A y B) y de 2 electrodos de lecturas del Potencial o Voltaje (P1 y P2).

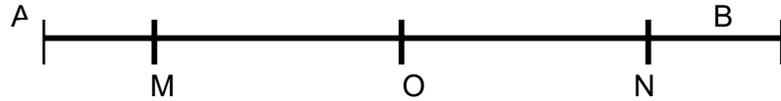


Figura 4.7 Configuración de Schlumberger.

Abiertos simétricamente hasta 215 m. del centro de simetría O, alcanzándose unos 100 ó 120 m de profundidad de investigación en configuración (arreglo de electrodos en el campo) Schlumberger. Una vez obtenida la lectura del potencial se computa la resistividad mediante la fórmula:

$$\rho = \frac{V}{I} K$$

Donde,

$$K = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right]}$$

V = diferencial de potencia entre A y B (voltaje).

I = intensidad de corriente inyectada entre M y N.

K = factor geométrico en función de la ubicación y distancias interelectródicas.

Con esta información se utiliza los software PISE 4 y WINSEV para calcular el mejor modelo optimizado en función de un modelo propuesto, según experiencia por el analista, obteniéndose los resultados y curvas que se comentan en lo posterior. Hay que aclarar que la interpretación de los sondeos eléctricos verticales, se basa principalmente en las observaciones de campo, en la geología local y sus implicaciones físicas (construcciones, líneas eléctricas, vehículos) y señales que inciden en la medida.

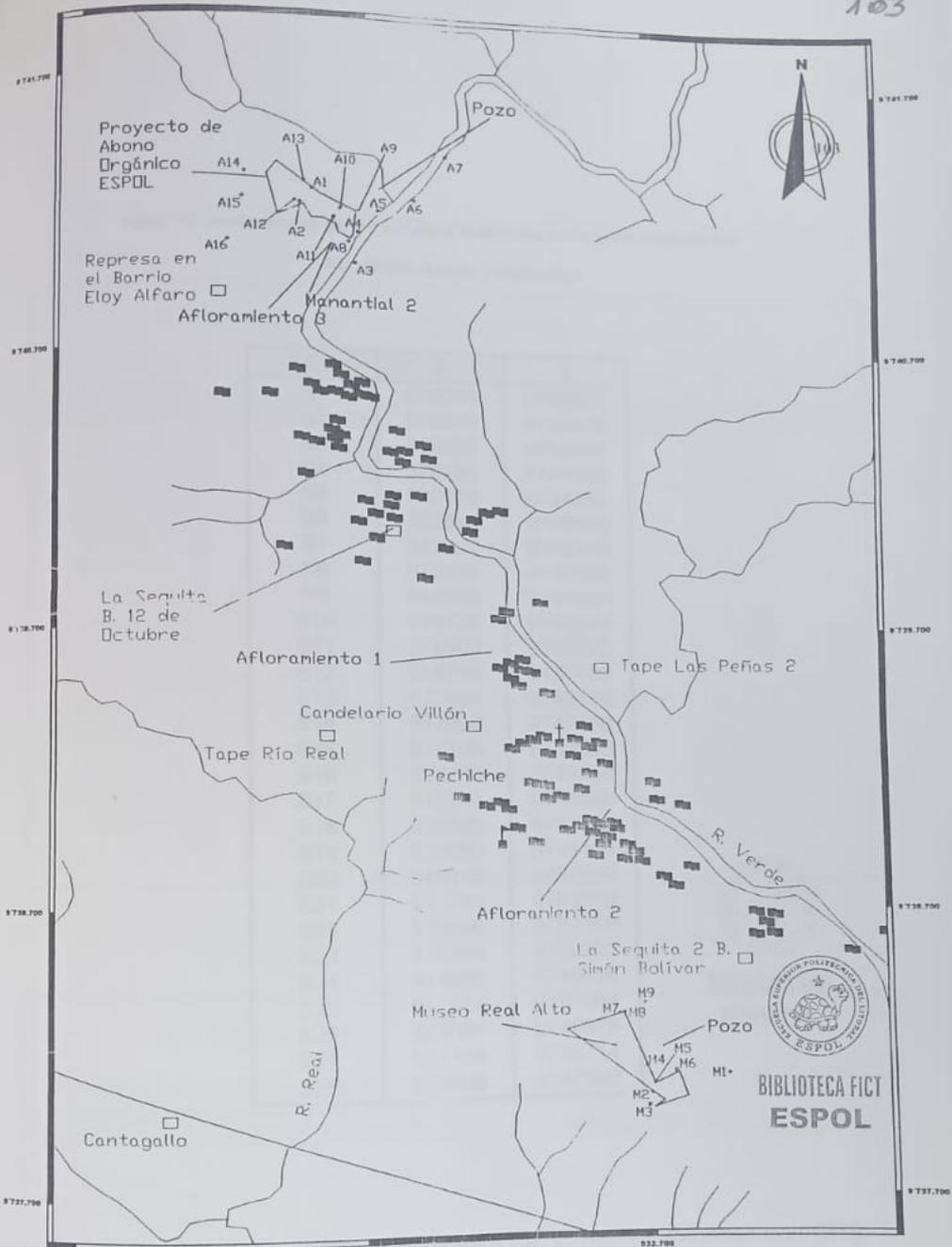
En el presente trabajo se realizaron las medidas de campo en puntos localizados por el equipo de trabajo con la finalidad de tener un buen conocimiento de toda la zona y poder reconocer la mejor área para agua subterránea. La localización y dirección de los sondeos eléctricos verticales (SEV) esta señalada en el mapa 6 de ubicación. La mayoría de los sondeos realizados por el proyecto fueron de 215 m, además se realizaron dos sondeos largos para corroborar los datos obtenidos en la campaña regular. A continuación se indica las coordenadas de ubicación de cada sondeo realizado en el área de estudio, la ubicación de los sondeos se encuentra dividido en tres tablas. Tabla 13 consta de los sondeos realizados entre: Ancón, Santa Elena y Atahualpa, tabla 14 contiene los sondeos de la Hacienda-Espol y Tabla 15 los realizados en el Museo Real Alto ubicados en Pechiche.



Foto 15. Realización de la Prospección Geoeléctrica.

La ubicación de los sondeos y de las instalaciones tanto del Museo de Real Alto, como de la Hacienda del Proyecto de Abono orgánico, se encuentra detalladas en el **mapa 9** general de cada localidad.

Mapa 9. Ubicación de sondeos eléctricos verticales en Pechiche.



- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-----------|
| — Limite del área de estudio | M1• Sondeos en Museo Real Alto | ▩ Escuela |
| □ Albarradas | ■ Asentamientos rurales | ~ Río |
| A16• Sondeos en Proyecto ESPOL | † Iglesia | |

ESCALA
1:20.000

Mapa 9. Ubicación de sondeos eléctricos verticales en Pechiche.

Tabla 13. Coordenadas de los sondeos realizados en la zona limitada por:

Sta. Elena, Ancón y Atahualpa.

SEV	X	Y
S1	516270	9752550
S2	516300	9752420
S3	516500	9752400
S4	526250	9744600
S5	526150	9744250
S6	522620	9745600
S7	522200	9745400
S8	518500	9747600
S9	519500	9747400
S10	519700	9747570
S11	519500	9747700
S12	519750	9747750
S13	517000	9743750
S14	517000	9743750
S15	517100	9743650
S16	517200	9743650
S17	517200	9743650
S18	520400	9742100
S19	520650	9742100
S20	516350	9752250
S21	517150	9743550
S22	516200	9752160
S23	516386	9750163
S24	514890	9746510
S25	517187	9751064
S26	527097	9748673
S27	527188	9748714
S28	527869	9747990

Todos los sondeos eléctricos verticales (SEV) fueron ubicados con GPS, y de esta forma fueron registrados, tal como consta en la síntesis de las tablas que se está revisando.

Tabla 14. Coordenadas de los distintos sondeos realizados en la Hacienda ESPOL-Pechiche.

COORDENADAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS.		
SONDEOS REALIZADOS EN EL PROYECTO DE ABONO ORGÁNICO.		
SONDEOS	X	Y
A1	531400	9741241
A2	531359	9741189
A3	531535	9740985
A4	531579	9741074
A5	531651	9741148
A6	531733	9741209
A7	531873	9741382
A8	531531	9741052
A9	531561	9741164
A10	531501	9741172
A11	531478	9741141
A12	531341	9741194
A13	531371	9741268
A14	531164	9741296
A15	531157	9741204
A16	531107	9741047

Tabla 15. Coordenadas de los distintos sondeos realizados en el Museo Real Alto.

COORDENADAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS		
SONDEOS REALIZADOS EN EL PROYECTO DE MUSEO REAL ALTO		
SONDEOS	X	Y
M1	532854	9738080
M2	532580	9738013
M3	532570	9737969
M4	532562	9738107
M5	532591	9738049
M6	532666	9738091
M7	532471	9738296
M8	532961	9738332
M9	532961	9738332

4.5. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DE POZOS.

Dentro del estudio se realizó la toma de muestras de agua de pozos de manera aleatoria con muestras recogidas dentro de toda la área de estudio. (Véase la tabla 16), además se realizó simultáneamente con el ensayo de bombeo un análisis de las aguas que se captaron en el pozo. Estas tomas de muestras se lo realizó cada dos horas a partir del momento de inicio del ensayo.

Tabla 16. Ubicación de las muestras de agua.

Muestras	Coordenadas	Ubicación
M1	531929-9740110	Las Peñas - Pechiche
M2	532342-9739281	3 de Noviembre - Pechiche
M3	532420-9738260	Manantial - Pechiche
M4	525930-9744707	Atahualpa (pozo abandonado)
M5	525328-9745259	Atahualpa
M6	526365-9744655	Atahualpa
M7	525206-9745212	Atahualpa
M8	517213-9746942	Prosperidad
M9	520508-9746865	Prosperidad (muestra de manantial)
M10	533144-9744741	Río Verde
M11	531750-9741286	Proyecto ESPOL- PECHICHE

Antes de utilizar el agua obtenida del pozo es necesario conocer su composición química mediante el correspondiente análisis, como esta agua es para regadío, conviene tener una valoración cuantitativa de su composición, ya que no todas las aguas son aptas para el normal desarrollo de determinados cultivos. No se tomaron muestras en los primeros minutos del bombeo, ya que siempre hay que esperar a que el agua salga totalmente clara, antes de iniciar la toma de muestras. Por lo general es suficiente tomar tres muestras a lo largo del bombeo, pero en casos de posible intrusión marina se recomienda tomar las muestras que se crean necesarias.

Por lo general la cantidad de agua para cada muestra será de 1 litro, en cada muestra tomada deberá reseñarse el nivel dinámico y la hora en que fue tomada, así como la identificación del sondeo. Las botellas serán de plástico y deben estar bien limpias, lavándose previamente con agua destilada y después con la misma agua del pozo antes de ser llenadas.



Foto 16. Toma de muestra de agua en el pozo del Proyecto de la ESPOL en Pechiche.

4.6. UBICACIÓN DE ZONAS DE ACUMULACIÓN Y/O EXPLOTACIÓN.

Las zonas encontradas para zonas de explotación del agua subterránea mediante pozos, en orden de importancia son las poblaciones de: Pechiche, Río Verde, Chapucal, Manantial de Prosperidad y Atahualpa, en especial los lugares más cercanos a la cuenca de los ríos: El Tambo, río Verde.

Las zonas de explotación mediante pozos someros son Manantial de Prosperidad, Pechiche, río Verde y en las zonas bajas de Chapucal y mediante pozos profundos en Atahualpa. Para ello constatar los resultados de geoelectrónica.

Se propuso de manera puntual la realización de pozos de prueba uno ubicado en Pechiche para el Proyecto de abono orgánico de la ESPOL y otro ubicado en la entrada de Atahualpa para abastecimiento para usos forestales.

Cabe recalcar que estas dos zonas fueron determinadas como mejores a través de los sondeos eléctricos verticales realizados y a través de la observación en el campo de manantiales productos de la descarga del acuífero, estos manantiales están muy cercanos a los lugares propuestos, por ser esta una manifestación en la superficie de la potencialidad del acuífero.

Las zonas de acumulación recomendadas para la realización de embalses son: en Pechiche en los sectores cercanos a las vertientes del río Verde, Manantial de Prosperidad, parte sur y entrada de Atahualpa y parte norte de Ancón.

4.7. PRUEBA DE BOMBEO EN LA ZONA MÁS FAVORABLE.

En la Hacienda ESPOL-Pechiche se realizó dos ensayos de bombeo del pozo que es alimentado por el acuífero conformado por la Formación Tablazo que se encuentran aflorando en el sitio de prueba.

El ensayo de bombeo realizado fue a caudal constante a lo largo de toda la prueba con régimen variable, determinando la variación de los niveles en función del tiempo de bombeo.

El objetivo fue de obtener información acerca del comportamiento y eficiencia del pozo mientras este se bombea, lo cual se reporta en términos de descarga o también denominado rendimiento (el volumen de agua por unidad de tiempo que el pozo esta descargando por bombeo o descarga natural), abatimiento observado (descenso que experimenta el nivel de agua cuando sé esta bombeando), transmisividad y permeabilidad, esto nos ayudó a tener una base para la selección óptima del equipo de bombeo.



Foto 17. Prueba de bombeo realizada en el Proyecto de la ESPOL en Pechiche.

En las tablas siguientes se indican los datos recogidos durante las dos pruebas de bombeo realizadas en el mismo lugar pero con diferentes bombas (2 y 4.4 HP).

La realización de dos ensayos de bombeo se justifica, debido a que según los datos iniciales de referencia de los estudios anteriores el caudal permisible era de 1 L/s. Pero los estudios geoelectrónicos ya permitían avizorar un mejoramiento, y al realizar la prueba con la bomba de 2,2 L/s, se determinó que se podía explotar mayor caudal, por lo que se pasó a la bomba de 5,8 L/s. Datos que se presentan a continuación en las tablas siguientes.

Se puede analizar los valores de las tablas y notar cuando empezó la prueba de bombeo, la periodicidad del tiempo de medidas y el valor del abatimiento registrado. El abatimiento es el descenso del nivel, en este caso dinámico, debido al bombeo. Cabe indicar que en estas tablas también se señala el momento que se han tomado muestras de agua, para su posterior análisis.

Tabla 17. Datos de abatimiento del Ensayo de bombeo N°1 en la Hacienda ESPOL-PECHICHE, con una bomba de 2 HP.

Localización : **Área de la Hacienda ESPOL-PECHICHE.**

Caudal Promedio: 2.2l/s.

Fecha: 14-09-2001.

Nivel estático del agua: 4.10 m.

Bomba: 2 HP. Diámetro: 2".

ENSAYO DE BOMBEO N° 1.

Tiempo desde que comenzó el bombeo.	Tiempo transcurrido (min)	Abatimiento (m).	Muestra #	
11:20		4.1		
	30	5.07	0.97	
	60	5.09	0.99	
	90	5.08	0.98	
	120	5.08	0.98	P1
	150	5.06	0.96	
	180	5.07	0.97	P2

Tabla 18. Datos de abatimiento del Ensayo de bombeo N°2 en la Hacienda ESPOL-PECHICHE con una bomba de 4.4 HP.

Localización :Área de la ESPOL en Pechiche.

Caudal Promedio: 5.8l/s.

Fecha: 17-09-2001.

Nivel estático del agua: 4,03 m.

Bomba: 4.4 HP Diámetro:3"

ENSAYO DE BOMBEO N° 2.

Tiempo desde que comenzó el bombeo.	Tiempo Transcurrido (min).	Altura de abatimiento (m).	Abatimiento (m).	Muestra #
00h05'	0	4.03	0	
	8	7	2.97	
	30	7.15	3.12	
	60	6.9	2.87	
	90	6.86	2.83	
	120	6.88	2.85	P1
	150	6.83	2.8	
	180	6.78	2.75	
	210	6.76	2.73	
	240	6.74	2.71	P2
	270	6.71	2.68	
	300	6.69	2.66	
	330	6.8	2.77	
	360	6.66	2.63	P3
	390	6.73	2.7	
	420	6.75	2.72	
	450	6.72	2.69	
	480	6.76	2.73	P4
	510	6.76	2.73	
	540	6.73	2.7	
	570	6.76	2.73	
	600	6.75	2.72	P5
	630	6.73	2.7	
	660	6.75	2.72	
	720	6.73	2.7	P6
	780	6.75	2.72	
	840	6.69	2.66	P7

CAPÍTULO V.

V. TRABAJO DE OFICINA.

5.1. FOTOINTERPRETACIÓN DE LA ZONA.

Se usaron fotografías aéreas para realizar un trazado detallado y poder analizar más claramente el drenaje, de esta manera podemos distinguir que la zona con mayor densidad de drenaje se encuentra localizada en Sta. Elena, Ancón (Sector Oeste del área de estudio) lo cual indica que nos encontramos en un área que tiene material impermeable, que corresponde a las arcillas de la Formación Ancón y se puede observar que la zona de Chapucal, Río Verde y Pechiche (Sector Este del área de estudio) posee menor densidad de drenaje del río Verde, lo cual indica que la roca que se encuentra aquí es muy permeable (F. Tablazo) y esto hace que el agua se infiltre haciendo que de esta manera ingrese al subsuelo y se recargue el acuífero freático, por esto se confirma que estas, son zonas de recarga.

Esto nos ayudó a determinar más a detalle el área drenada por cada sistema hidrográfico. A continuación indicamos el área aproximada que es drenada por los principales sistemas hidrográficos:

Área drenada por el Río Verde = 17.5 Km²

Área drenada por el Río Tambo = 29.9 Km²

Área drenada por el Río Engabado = 25.9 Km²

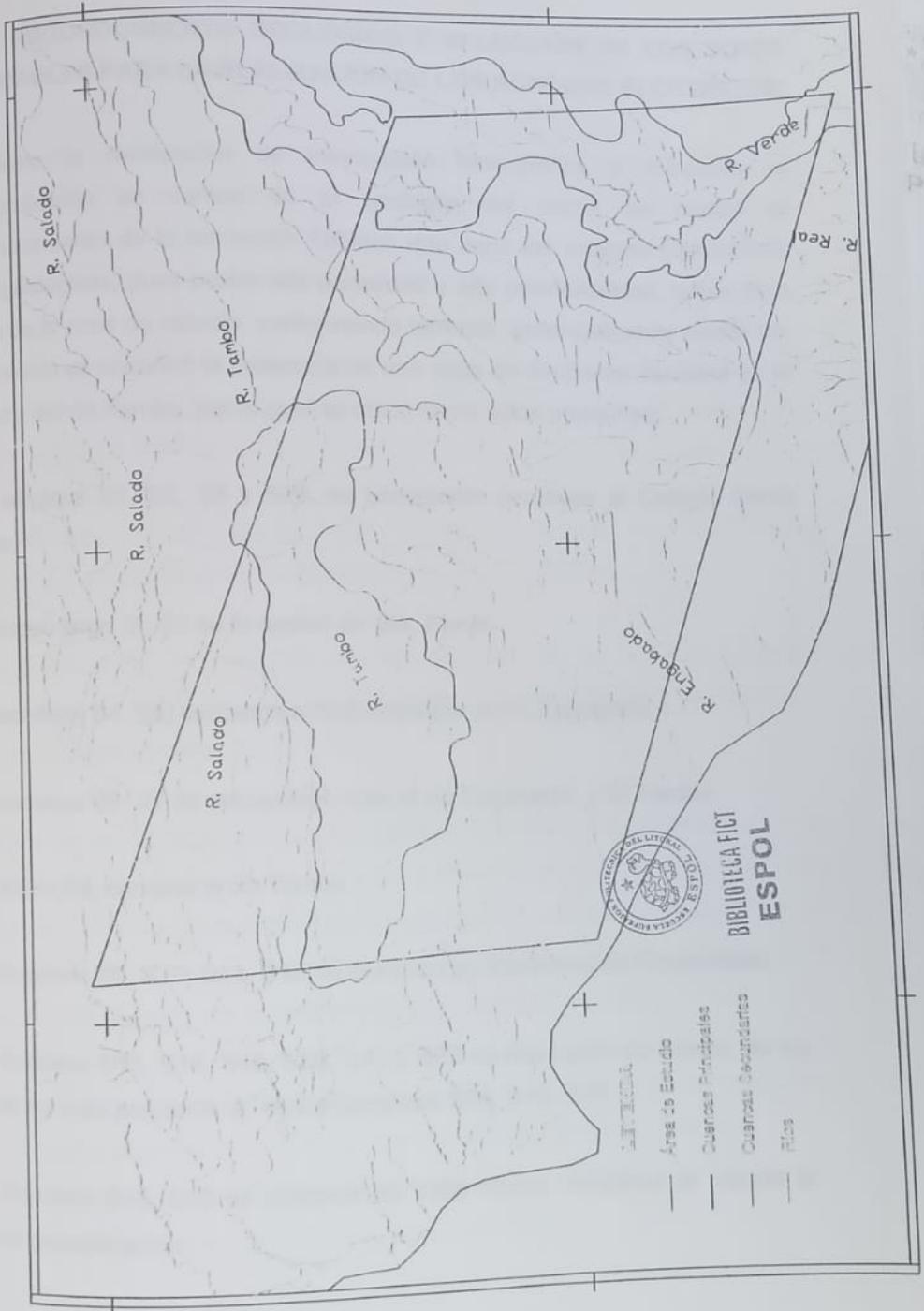
Área drenada por el Río La seca = 27.2 Km²

Área drenada por el Río Salado = 13.1 Km²

Otra información importante de la red de drenaje, es que nos posibilita información de las posibles zonas más importantes de recarga, si conservan los terrenos propiedades para captar, o en su defecto nos dan la posibilidad de realizar recarga, mediante la preparación del terreno, por lo que comúnmente se llama recarga artificial. *Véase en el Mapa 10, Redes hidrográficas a detalle.*

Mapa 10. Sistemas hidrográficos a detalle.

Mapa 10. Sistemas hidrográficos a detalle.



5.2. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y SELECCIÓN DE LOS SITIOS PROBABLES PARA LA REALIZACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS.

Mediante la recolección de información bibliográfica y mediante la comprobación en campo de la geología del sector se realizó el reconocimiento de la formación Tablazo que tiene las mejores condiciones hidrogeológicas, pues posee alta porosidad y alta permeabilidad, cubre gran parte de la zona de estudio, conformando terrenos potencialmente acuíferos. Así mismo se encontró la presencia de una capa de depósitos aluviales en la cuenca del río Tambo, por lo cual se ubicó como sitios probables:

Los sondeos S1, S2, S3 y S20, se escogieron cercanos al Colegio Santa Elena.

El sondeo largo SL-21 se lo realizó en Sta. Elena.

Los sondeos S4, S5, cercanos a Atahualpa por el río Engabado.

Los sondeos S6, S7 se encuentran ente el río Engabado y El Tambo.

El sondeo S8, cercano al río Tambo.

Los Sondeos S9, S10, S11, S12 se ubicaron en Manantial de Prosperidad.

Los Sondeos S13, S14, S15, S16, S17 y S22 se realizaron en Ancón, de los cuales los más cercanos al río La Seca son S14, S16, S17.

Los Sondeos S18, S19 se ubicaron en Valle Verde, cercanos al río de la misma denominación.

Los Sondeos S26, S27, S28, se realizaron a la entrada de Atahualpa, cercanos a las vertientes del río Tambo.

Los Sondeos S23, S25 se encuentran ubicados en el tramo Santa Elena- El Tambo, cercanos al río Salado.

El Sondeo 24 está cercano al Tambo y a la Q. La tortuga.

Los Sondeos A3, A4, A5, A6, A7 en el cauce del río Verde en el Proyecto de Abono Orgánico del Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena (PDPSE) de la ESPOL.

Los Sondeos A1, A2, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, fueron realizados en el Proyecto de Abono Orgánico de la ESPOL.

Los Sondeos M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, se ubicaron fuera del cauce del río Verde en Museo Real Alto. Ver en Mapa 5 la ubicación general de los sondeos.

Dentro de la información que se recopiló fue el mapa Geológico, mapa hidrogeológico y el mapa de las Zonas Prioritarias para la investigación y explotación de aguas subterráneas, los cuales sirvieron para poder tener un conocimiento de los posibles sitios más favorables a escala regional, para nuestra investigación ya de manera local en el área de estudio.

Según el Mapa 4 Geológico en el área de estudio se distingue tres unidades geológicas principales: Q_T Fm. Tablazo (50-100m). Terrazas Marinas bioclásticas; E_N Gpo. Ancón (1200m). Turbiditas y Lutitas; P_CE_A Gpo. Azúcar (3000m), lutitas, areniscas y conglomerados.

Para la selección de los mejores sitios para la realización de los sondeos se ubicó las zonas hidrogeológicamente más importantes basándose en las comprobaciones de campo preliminares de la información recopilada.

Según el Mapa 11 Hidrogeológico, en nuestra área de estudio encontramos tres zonas diferenciadas entre sí por su permeabilidad y por su consolidación.

A1 no consolidadas, buena permeabilidad, aluviales, coluviales.

B1 semiconsolidadas, buena permeabilidad, terrazas, depósitos de pie de monte.

C2 consolidadas, moderada permeabilidad, rocas sedimentarias marinas, continentales.

Se puede apreciar en el Mapa 12 las Zonas Prioritarias para la investigación y explotación de aguas subterráneas.

Basándose en los estudios geológicos e hidrogeológicos mencionados anteriormente, a las comprobaciones de campo y teniendo en cuenta la facilidad de acceso de las vías, los sondeos que se realizaron fueron:

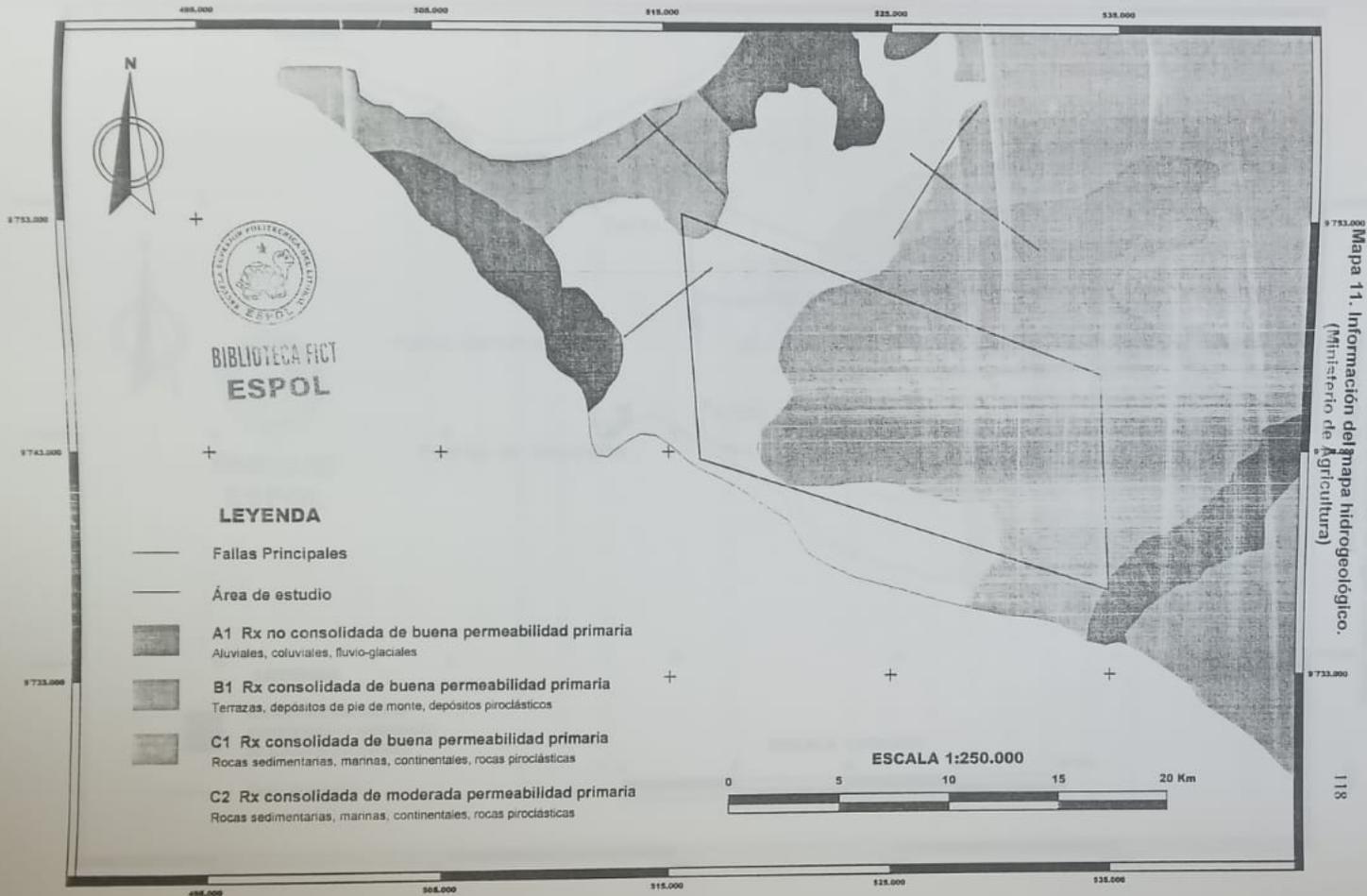
Sondeos realizados en el área cubierta por la formación Tablazo: Manantial de Prosperidad, Atahualpa, Pechiche.

Sondeos realizados en el área cubierta por la formación Ancón: Santa Elena, Prosperidad, El Tambo, Ancón.

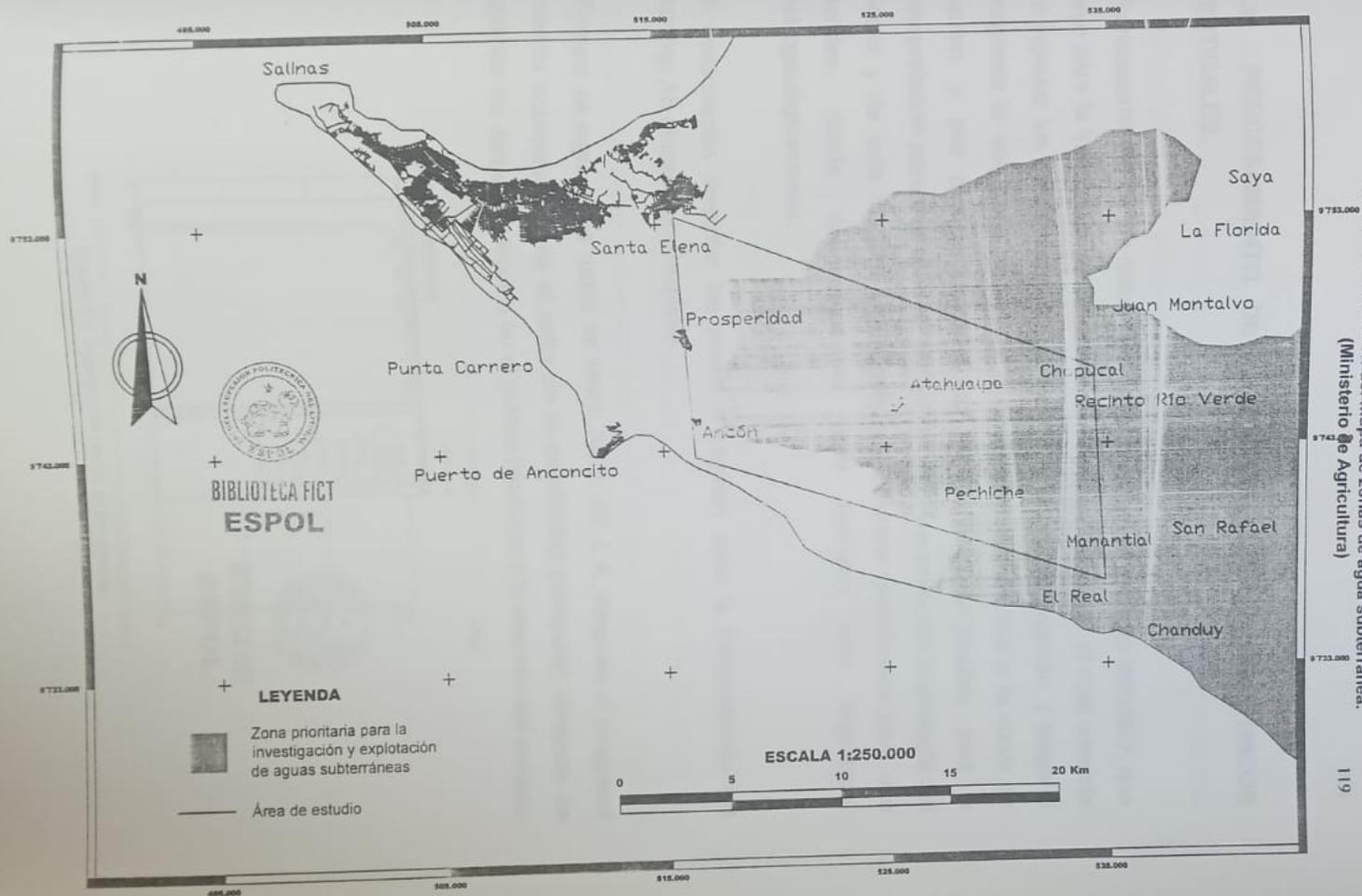
Sondeos realizados a lo largo del río Verde.

Sondeos realizados en el río El Tambo.

**Mapa 11. Información del mapa hidrogeológico.
(Ministerio de Agricultura)**



**Mapa 12. Información del mapa de zonas de agua subterránea.
(Ministerio de Agricultura)**



Mapa 12. Información del mapa de zonas de agua subterránea. (Ministerio de Agricultura)

5.3. PROCESAMIENTO DE DATOS DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

El procesamiento de los datos se realizó mediante el software WINSEV, que sirve para la interpretación de sondeos eléctricos verticales, el cual consiste en ingresar los datos recogidos en campo, y el modelo sugerido, y luego el programa lo que hace es ajustar la curva modelo más real a la curva de campo, y ese modelo obtenido con el menor error posible, será la interpretación para ese sondeo, el cual correlacionaremos con la geología del sector y de esta manera obtendremos la columna geoelectrica para ese sondeo, donde definiremos la capa litológica más importante hidrogeológicamente.

A continuación describo los pasos a seguirse para la interpretación del sondeo A5 ubicado en Pechiche:

Primero se ingresa los datos de MN/2, AB/2, ΔV , I, K, después el programa calcula automáticamente el valor de la resistividad (compute), después de guardar los datos y aplicarlos en el gráfico pasamos a la elección del modelo.

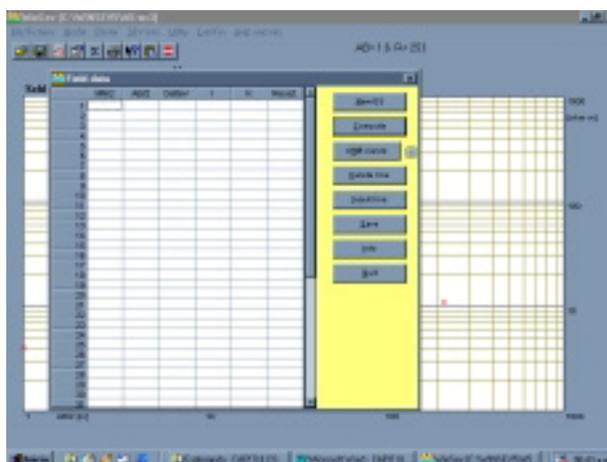


Figura 5.1 Ingreso de datos al programa.

A continuación el programa puede calcular automáticamente el modelo o se puede ingresar el modelo que uno sugiera, y este programa ajusta el modelo ingresado a los datos ingresados de campo.

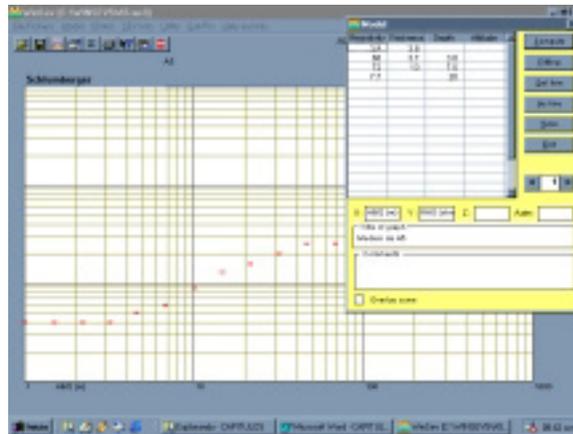


Figura 5.2 Elección del modelo.

De esta manera podemos observar en el gráfico a continuación los resultados del ajuste del modelo teórico con los datos del sondeo obtenidos en el campo.

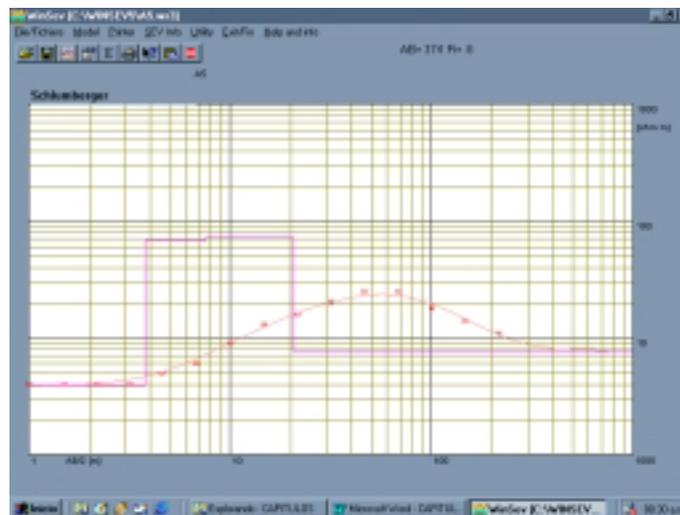


Figura 5.3 Ajuste de los valores de campo con el modelo.

Para finalizar, el programa nos da los valores del modelo obtenido y nos da la facilidad del manejo de los datos y las curvas para la presentación del informe.

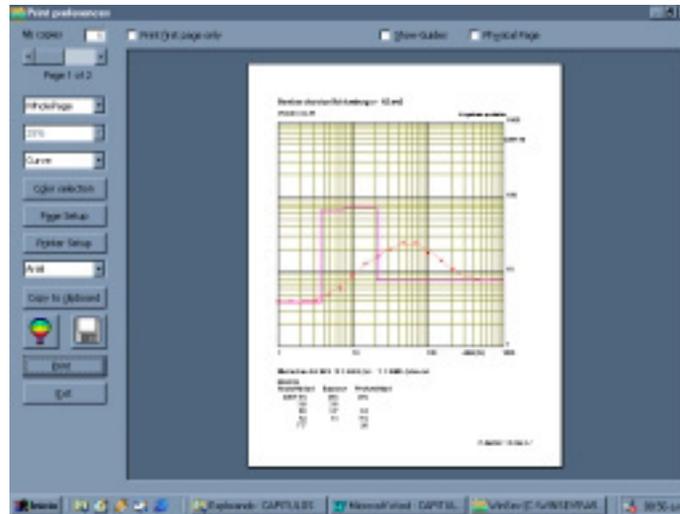


Figura 5.4 Entrega de resultados del programa de interpretación.

Todos los softwares de geoelectrica guardan una metodología muy parecida. En el mercado hay una gran cantidad de programas que sirven para la interpretación. Cabe indicar que en este trabajo, también se ha interpretado con el software PISE.

Las interpretaciones con uno y otro software han dado resultados muy semejantes, como era de esperarse. En todo caso el resultado de los programas es un ajuste matemático, modelado según los ábacos tradicionales implementados en los mismos.

Tabla 19. Tabla de resultados de los sondeos eléctricos verticales en el sector Sta. Elena, Ancón y Atahualpa.

SEV	Ubicación	Profundidad (m)	Espesor (m)	Resistividad (Ω .m)	Interpretación
1	Colegio Santa Elena,	5.97	5.97	63.03	Arenas con gravas
	Zona de cultivo	49.01	43.04	4.38	Areniscas intercaladas con conglomerados calcáreos
				5.01	Limos y arenas finas
2	Colegio Santa Elena,	7.64	7.64	63.79	Arenas con gravas
		106.51	39.13	6.6	Areniscas con conglomerados calcáreos
				4.61	Limos y arcillas con agua salina (limolitas)
3	Colegio Santa Elena,	1.4	1.4	6.93	Limos y arenas finas
		7.29	5.89	31.48	Arenas finas con arcillas
		61.04	53.75	1.51	Limos y arcillas con agua salina
				11.08	Areniscas con conglomerados calcáreos
4	Atahualpa,	5.87	5.87	48.43	Arenas finas con gravas
	Cerca del pozo	116.6	110.73	6.81	Areniscas con conglomerados calcáreos.
				6.67	Limos (limolitas)
5	Atahualpa,	0.66	0.66	306.8	Suelos
		2.06	1.4	56.41	Arenas finas con gravas
		9.68	7.62	147.37	Arenas gruesas con gravas y cantos
		145.92	136.24	7.2	Areniscas con conglomerados calcáreos
				6.47	Limos
6	Río Tambo	1.24	1.24	26.67	Arenas finas con arcillas
		21.13	19.89	2.02	Limos y arcillas con agua salina
				15.92	Areniscas con conglomerados calcáreos
7		1.09	1.09	5.6	Suelo

	Río Tambo	2.34	1.25	4.79	Limos y arenas finas
		14.67	12.33	0.95	Limos y arcillas con agua salina
				16.63	Areniscas con conglomerados calcáreos
8	Río Tambo	0.52	0.52	12788.73	Arenas con gravas
		4.02	3.5	91.7	Arenas finas
		9.71	5.69	137.69	Arenas gruesas
		10.84	1.13	5.28	Limos y arenas finas
		23.16	12.32	89.88	Areniscas
		23.26	0.1	40.37	Arenas finas
				897.92	Arenas con gravas
9	Manantial de Prosperidad	0.62	0.62	6.26	Limos con arenas finas
		2.75	2.13	36.23	Arenas finas con gravas
		43.38	40.63	4.16	Areniscas con conglomerados calcáreos
				7.26	Limos y arenas finas
10	Manantial de Prosperidad	22.79	22.79	87.71	Arenas finas con gravas
				6.8	Areniscas con conglomerados calcáreos
11	Manantial de Prosperidad	1.49	1.49	5.86	Limos y arenas finas
		18.09	16.6	29.96	Arenas finas con gravas
		79.29	61.19	3.26	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
				10.76	Areniscas con conglomerados calcáreos
12	Manantial de Prosperidad	0.7	0.7	3.95	Limos arcillosos con agua salina
		2.39	1.69	14.59	Arena fina
		22.07	19.68	16.97	Arena fina con arcilla
		51.9	29.83	17.86	Areniscas con conglomerados calcáreos
				4.18	Limos y arcillas con agua salina
13	Ancón, Frente a la gasolinera	0.41	0.41	71.65	Arenas con gravas
		1.77	1.36	1.63	Limo arcilloso con agua salina

		5.03	3.26	8.42	Limos con arenas finas
		22.95	17.92	1.58	Limos arcillosos con agua salina
				34.43	Areniscas con conglomerados calcáreos
14	Ancón, Frente a la gasolinera	0.37	0.37	16.93	Arenas con gravas
		3.27 11.47	2.9	2.52	Limos arcillosos con agua salina
		11.47	8.2	2.84	Arcillas limosas con agua salina
		62.31	50.84	4.42	Areniscas con conglomerados calcáreos
		136.28	73.97	2.75	Limos arcillosos con agua salina
				6.21	Limos con arenas finas
15	Ancón, Frente a la gasolinera	0.41	0.41	66.71	Arenas con gravas
		2.66 4.37	2.25	1.18	Limos con arenas finas
		4.37	1.71	2.51	Limos arcillosos con aguas salinas
		13.98	9.61	0.8	Arcillas limosas
		22.71	8.73	1.79	limos arcillosos con agua salina
		30.78	8.07	1.06	Arcillas con limos
		61.82	31.04	3.66	Limolitas
				13.58	Areniscas con conglomerados calcáreos
16	Ancón, Frente a la gasolinera	2.06	2.06	3.44	Suelo Arcillosos
		31.66 89.82	29.3	1.39	Limolitas arcillas con agua salina
		89.82	58.16	9.08	Limos con arenas finas
				15.61	Areniscas con conglomerados calcáreos.
17		0.39	0.39	21.8	Arenas finas con arcillas
		1.32 2.48	0.93	1.29	Limos y arcillas

	Ancón, Frente a la gasolinera	2.48	1.16	2.8	Arcillas limosas con agua salina
		3.72	1.24	1.94	Limos y arcillas con agua salinas
		6.74	3.02	2.02	Arcillas limosas
		18.84	12.1	0.5	Limos y arcillas
				34.71	Areniscas con conglomerados calcáreos
18	Valle Verde	0.84	0.84	34.45	Arena con gravas
		7.64	6.8	4.93	Limos con arenas finas
		62.62	54.98	5.23	Areniscas con conglomerados calcáreos
		130.18	67.56	1.34	Limos y arcillas con agua fina
				3.8	Limos arcillosos
19	Valle Verde	1.02	1.02	49.27	Arenas con gravas
		45.36	44.34	2.98	Limos y arcillas con agua salina
				11.1	Areniscas con conglomerados calcáreos
20	Colegio Santa Elena,	0.53	0.53	33.84	Suelo meteorizados
		5.16	4.63	123.74	Arenas gruesas con gravas y cantos
		120.67	115.51	3.65	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
				9.64	Areniscas con conglomerados calcáreos
21	Ancón, Frente a la gasolinera Sondeo largo	0.52	0.52	47.93	Suelos
		103.79	102.67	1.71	Limos y arcillas con agua salina
		164.76	61.57	1.26	Arcillas limosas con agua salina
		244.43	79.67	0.53	Limos y arcillas con agua salina
				0.09	Arcillas impermeables
22	Colegio Técnico Santa Elena	5.11	5.11	23.46	Arenas finas con gravas

	Sondeo largo	48.74	43.6	3.34	Limos y arcillas con agua salina
		78.07	29.33	0.72	Arcillas limosas con agua salina
		91.89	13.82	1.34	Limos y arcillas con agua salina
				0.09	Arcillas impermeables
23	Carretera Sta. Elena Tambo	2.99	2.99	1.87	Arenas finas con arcillas
		33.42	30.43	1.88	Arcillas limosas con agua salina
				15.8	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
24	Carretera Sta. Elena Tambo	1.5	1.5	3.57	Arenas finas con arcillas
		40.11	38.61	1.19	Arcillas limosas con agua salina
			10.4	10.4	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
25	Sector cercano a Prosperidad	21.9	21.9	28.26	Arenas con gravas
		27.81	5.91	12.86	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
				4.19	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
26	Entrada de Atahualpa	0.66	0.66	465.97	Arenas finas con gravas
		9.45	8.79	36.82	Arenas con gravas
				3.71	Arenas algo salinas
27	Entrada de Atahualpa	1.49	1.49	8.21	Arenas finas con gravas
		30.67	29.18	3.54	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
				9.89	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
28	Entrada de Atahualpa	0.83	0.83	25.98	Arenas finas con gravas
		4.51	3.68	62.81	Arenas con gravas
		42.63	38.12	31.38	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina
				9.89	Areniscas con conglomerados calcáreos con agua salina

* Zonas de mayor interés por su potencial acuífero.

Tabla 20. Tabla de resultados de los sondeos eléctricos verticales en el sector de la Hacienda ESPOL-PECHICHE.

Sondeo	Profundidad (m.)	Espesor (m.)	Resistividad(Ω xm.)
SEV-01	1.65	1.65	43.84
	11.99	10.34	282.80
	30.8	18.81	18.49
			5.94
SEV-02	1.00	1.00	20.34
	11.95	10.95	216.91
	27.00	15.05	13.52
			6.36
SEV-03	0.24	0.24	39.80
	59.12	58.88	431.25
			1180.35
SEV-04	2.31	2.31	10.93
	13.64	11.33	56.10
	24.05	10.41	4.34
			3.15
SEV-05	4.09	4.09	4.44
	10.39	6.30	41.19
	25.09	14.70	73.61
			6.08
SEV-06	20.48	20.48	5.77
	38.05	17.57	10.57
	96.11	58.06	21.47
			48.07
SEV-07	2.79	2.79	8.36
	19.2	16.41	91.02
	29.68	10.18	33.12
			2.00

SEV-08	0.74	0.74	35.71
	11.32	10.58	687.70
	40.64	29.32	22.98
			1.59
SEV-09	3.25	3.25	134.95
	17.97	14.72	221.72
	33.65	15.68	100.31
			7.14
SEV-10	0.86	0.86	58.21
	10.22	9.36	535.91
	28.99	18.77	86.03
			6.17
SEV-11	0.52	0.52	12.27
	9.55	5.03	288.42
	16.74	11.19	32.70
			3.92
SEV-12	0.47	0.47	659.23
	33.34	32.87	16.14
	112.46	79.12	631.15
			11.97
SEV-13	1.29	1.29	29.57
	7.88	6.59	241.31
	20.08	12.2	58.56
			3.95
SEV-14	0.59	0.59	1.94
	8.44	7.85	55.34
	47.78	39.34	1.15
			7.41
SEV-15	9.34	9.34	81.74
	18.05	8.71	9.68
	40.07	22.02	1.00
			17.26
SEV-16	10.33	10.33	53.56
	49.88	39.55	3.73
			9.90

Tabla 21. Tabla de resultados de los sondeos eléctricos verticales en el sector de MUSEO REAL ALTO.

Sondeo	Profundidad (m.)	Espesor (m.)	Resistividad (Ωm.)
SEV-01	0.80	0.80	4.33
	9.76	8.96	76.21
			4.82
SEV-02	1.55	1.55	9.83
	35.3	33.75	80.14
			5.28
SEV-03	1.56	1.56	27.86
	26.91	25.35	95.19
	58.26	31.35	56.36
			11.77
SEV-04	1.43	1.43	28.52
	23.54	22.11	132.91
			9.57
SEV-05	2.86	2.86	29.47
	23.56	20.70	131.32
			14.21
SEV-06	1.28	1.28	28.59
	10.3	9.05	278.68
	56.22	45.89	18.91
			3.66
SEV-07	1.29	1.29	18.44
	6.23	4.94	192.30
	23.72	17.49	181.45
			3.51
SEV-08	0.94	0.94	4.05
	7.16	6.22	83.99
	38.22	31.06	32.66
			9.57
SEV-09	1.40	1.40	3.63
	17.71	16.31	75.13
	47.5	29.79	12.43
	86.64	39.14	9.68
			33.37

5.4. PROCESAMIENTO DE DATOS DE LA PRUEBA DE POZO.

Se representó los datos de la prueba de pozo, en una curva descenso-tiempo, para el bombeo, para de esta manera obtener los valores de permeabilidad, transmisividad y determinar el caudal más apto para la producción de ese pozo.

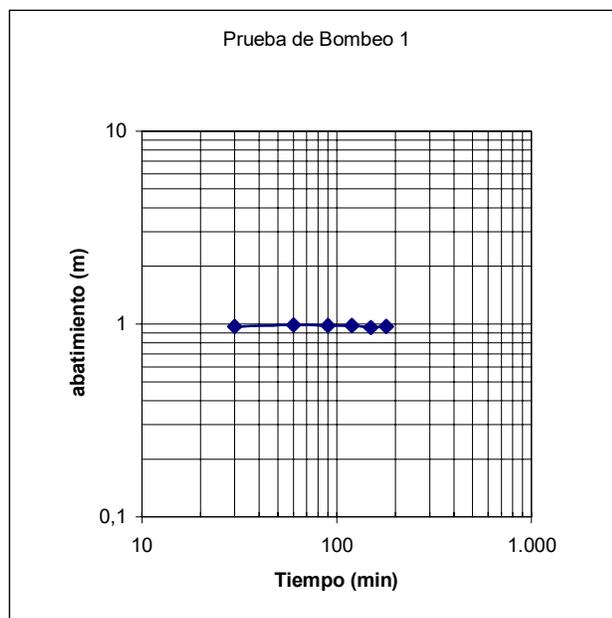


Fig. 5.5 Gráfico del abatimiento durante el ensayo de bombeo N° 1.

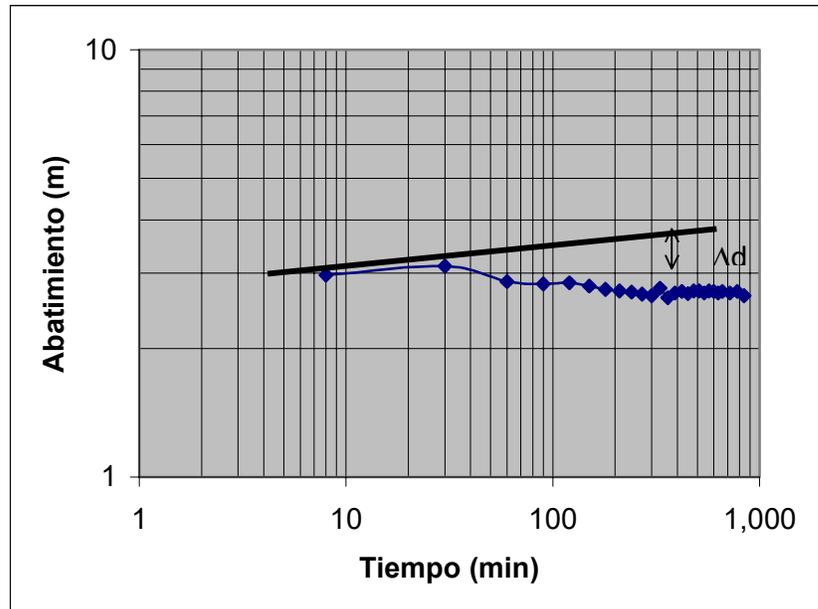


Fig. 5.6 Gráfico del abatimiento durante el ensayo de bombeo N°2.

El método empleado es el de Jacob, el cual ha servido para determinar la transmisividad en la prueba de bombeo 2. El cálculo correspondiente está dado a continuación:

$$T = 0.183 \frac{Q}{\Delta d}$$

$$T = 0.183 \frac{518.4m^3 / dia}{0.6m} = 158.112m^2 / dia$$

donde

Δd = es la caída por ciclo del abatimiento, dado en m

Q= caudal dado en m³/día

T= transmisividad dado en m²/día

Según datos registrados en unas pruebas de bombeo por el INERHI en 1986, se encontraron alturas de abatimiento en el sector de Pechiche entre 0.40 a 3 m, lo cual determina transmisividades entre $T = 237.168$ a $31.62 \text{ m}^2/\text{día}$.

$$T = m * K$$

T= transmisividad

m= espesor saturado del acuífero

K= permeabilidad

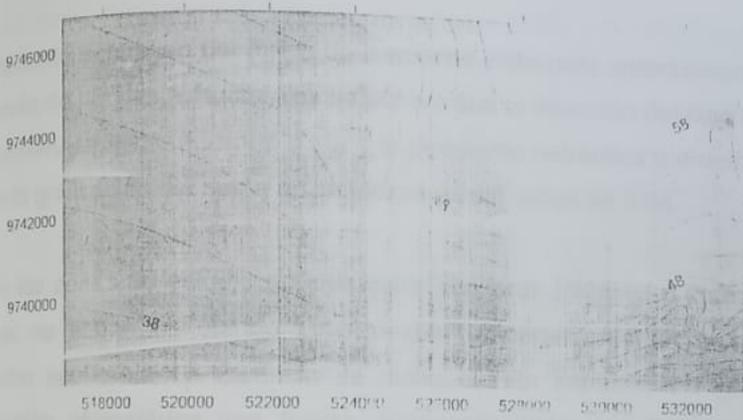
Los valores de permeabilidad obtenidos con los datos de la prueba de bombeo 2, fueron de $K = 5.27-1.97 \text{ m/día}$ para espesores entre 30 a 80 m. Solo se ha contado con los datos del pozo de bombeo por lo cual solo puede calcularse la transmisividad y la permeabilidad, pero no el coeficiente de almacenamiento, ya que para esto se requiere pozos de observación (piezómetros). Durante el ensayo de bombeo se probó el comportamiento y eficiencia del pozo mientras este se bombea, por ello se puede decir que el rendimiento del pozo aproximado del acuífero fue de 6 L/s, para ello se bombeo durante 14 horas y se obtuvo un abatimiento máximo de 3,12 m.

5.5. DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA.

Para la determinación de la superficie piezométrica en la zona de estudio, se utilizaron los datos obtenidos en un inventario de pozos realizado en el año de 2001 hecho para el efecto y el perfil estructural realizado con el método geoelectrico. Con la ayuda de la correlación de esta tabla del inventario y los resultados de los SEV se realizó el mapa de isopiezas que servirá para la determinación de la dirección del flujo de agua del acuífero y para determinar la pendiente hidráulica. El resultado gráfico del Mapa de Isopiezas puede observarse en el Mapa 13.

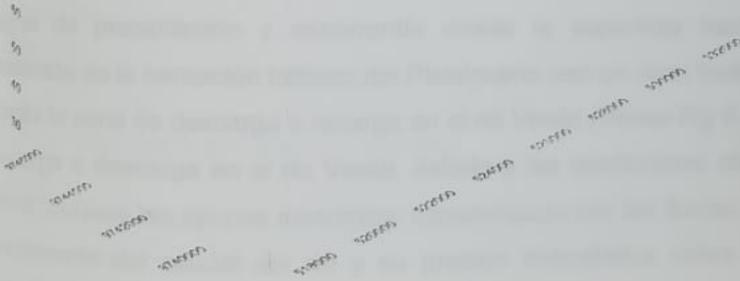
Mapa 13. Superficie piezométrica del área de estudio

Mapa 13. Superficie piezométrica del área de estudio



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- 68
- 66
- 64
- 62
- 60
- 58
- 56
- 54
- 52
- 50
- 48
- 46
- 44
- 42
- 40
- 38
- 36
- 34
- 32
- 30
- 28



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

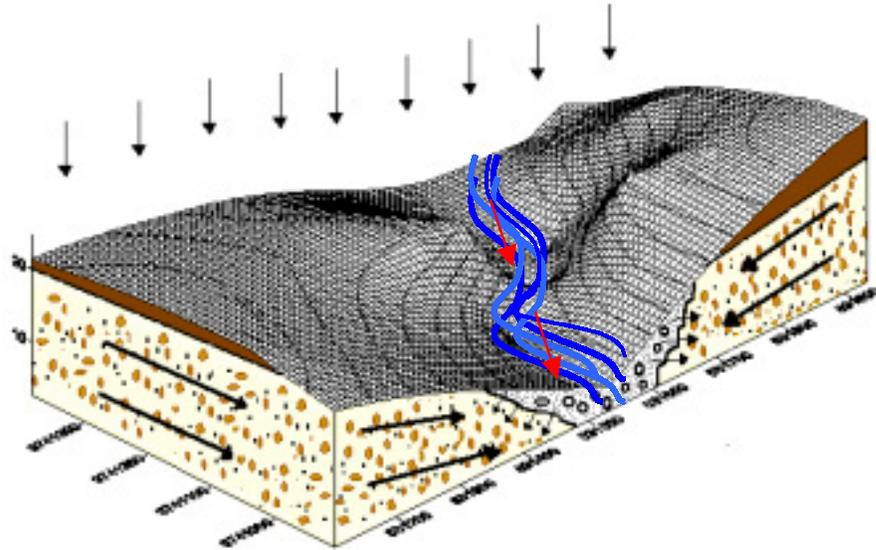
5.6. DIRECCIÓN DEL FLUJO.

Mediante el empleo del mapa de isopiezas elaborado anteriormente y con la ayuda de perfiles estructurales se obtuvo que la dirección del flujo de agua es aproximadamente de norte a sur y la pendiente hidráulica promedio obtenida de la graficación del mapa de isopiezas es del orden de 0.04.

En las zonas de estudio se encuentra acuíferos freáticos o libres, es decir, que no tienen un estrato impermeable (generalmente arcilla) confinando dicho acuífero. La carencia de dicho estrato impermeable hace que la presión atmosférica sea fuerza dominante junto con la gravedad. En consecuencia, habrá cierta parte de agua en los acuíferos, que no fluirá debido a fuerzas de capilaridad y atracción molecular, mientras que la otra parte fluirá desde la superficie freática hasta los niveles piezométricos, de esta manera percolando dicha zona.

En la zona de la hacienda ESPOL-PECHICHE, se tiene la infiltración del agua de precipitación y escorrentía desde la superficie hasta la zona saturada de la formación tablazo del Pleistoceno con un nivel freático de 4 m. hasta la zona de descarga o recarga en el río Verde (*Véase Fig 5.4*). Se dice recarga o descarga en el río Verde, debido a las condiciones climáticas, es decir; durante las épocas invernales caracterizado por las lluvias se tiene un incremento del caudal del río y su presión hidrostática sobre el material aluvial (arenas y gravas en el cauce del río), de tal manera, que el agua ingresa al acuífero, lo que quiere decir que el acuífero se recarga. Por otro lado, se tiene la época de estiaje donde no hay precipitaciones considerables, por lo tanto el caudal del río se anula totalmente (como en los actuales momentos), en consecuencia como no existe aporte de agua del río,

entonces el acuífero descarga agua hacia el río, y produce los manantiales que en estos momentos existen en la zona de Pechiche.



Formación Tablazo del Pleistoceno conformado por areniscas calcáreas con megafósiles



Suelo Arenoso con materia orgánica



Flujos de carga y descarga del acuífero



Material detrítico aluvial (Gravas, arenas y limos)



Dirección del flujo.

Fig. 5.7 Representación Tridimensional de los Flujos de carga y descarga del acuífero en la Hacienda ESPOL-PECHICHE.

Por otro lado, se tiene en la zona del Museo Real Alto (véase figura 5.5) un flujo de descarga similar que en el caso anterior debido a que tienen la misma constitución estratigráfica y mismas condiciones climáticas, sin

embargo existe una aditamento mas en cuanto al espesor de la capa perteneciente a la zona de aireación o zona de percolación que esta conformada por areniscas del cuaternario sobre la capa que almacena agua, como en el caso anterior de la Hacienda es la formación tablazo del Pleistoceno. Dicho espesor tiene alrededor de 20 m de profundidad lo que obliga al agua debido a la combinación de las fuerzas capilares y atracción molecular y además, influenciada por la gravedad, fluir en dirección casi horizontal por lo que provoca un flujo no hacia la formación tablazo sino hacia las cotas más bajas, es decir al río Verde y su aluvial.

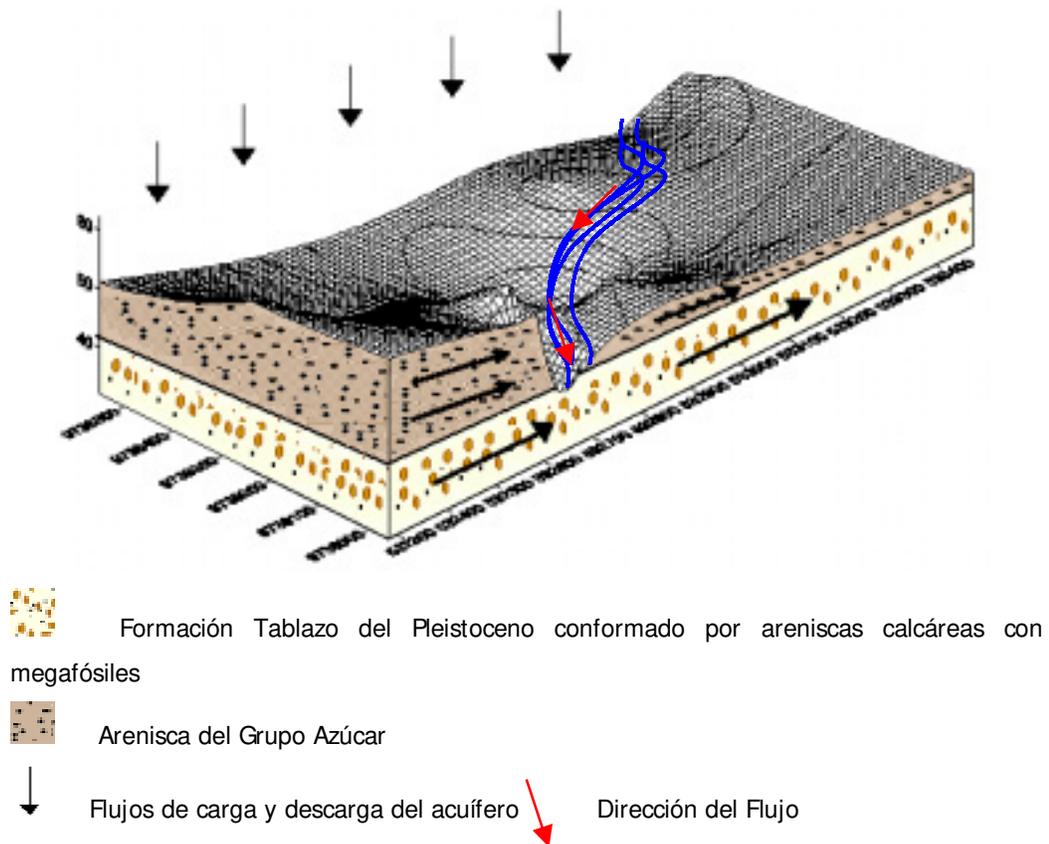


Fig. 5.8 Representación Tridimensional de los Flujos de carga y descarga del acuífero en el Museo Real Alto.

5.7. POTENCIAL DEL ACUÍFERO.

En nuestra área de estudio hemos encontrado 2 acuíferos freáticos y uno semiconfinado, que son los de mayor interés hidrogeológico en toda el área.

El acuífero freático localizado en la cuenca del río Tambo en Prosperidad, el cual tiene una extensión igual al valle del río, entonces tendremos que el área en esta zona es de 8 Km² aproximadamente y el espesor del acuífero en un promedio de 20 m, su volumen es de aproximadamente 160'000.000m³, con una porosidad en el orden del 27 al 30%, entonces la capacidad máxima será de 48'000.000 m³.

El acuífero freático localizado en la cuenca del río Verde en Pechiche, Chapucal y Río Verde, tiene una extensión de 29 Km² aproximadamente y el espesor del acuífero en un promedio de 50 m como un valor medio, su volumen es de aproximadamente 1450'000.000m³, con una porosidad en el orden del 20%, entonces la capacidad máxima será de 290'000.000 m³.

El acuífero semiconfinado localizado en Atahualpa, tiene una extensión de 19 Km² aproximadamente y el espesor del acuífero en un promedio de 50 m como un valor medio, su volumen es de aproximadamente 950'000.000m³, con una porosidad en el orden del 20%, entonces la capacidad máxima será de 190'000.000 m³

De la información recabada en la zona se ha visto que este acuífero es mayormente explotado por pozos que funcionan como fuente de abastecimiento rural y que extraen un caudal aproximado de 6-7 L/s.

Recarga del acuífero.

Es incuestionable que la recarga natural del acuífero es por medio de la precipitación con su consecuente escorrentía sobre los escarpe y el cauce del río.

Las pendientes moderadas que existen en la zona de Pechiche y sus alrededores, sumadas a las precipitaciones no muy fuertes que suelen ocurrir, son ideales para la infiltración del agua de precipitación, debido a que el agua permanece mayor tiempo en contacto con el suelo con una velocidad de escorrentía moderada. Además las capas subyacentes tienen naturaleza permeable, como son las arenas y la formación tablazo del Pleistoceno, que favorecen una percolación rápida y una saturación completa de la zona del acuífero.

Existe también la recarga del acuífero por medio del río Verde, esta ocurre principalmente en épocas de invierno cuando el río trae consigo agua e inunda las terrazas aluviales conformadas por gravas y arenas, que dicho sea de paso son el mejor material para infiltrar agua hacia el subsuelo. Además esta capa de aluvial se encuentra en contacto con la capa almacén, en este caso la Formación tablazo del Pleistoceno, esta se recarga por el aumento de la presión hidrostática del agua que infiltra y, consecuentemente satura los poros de dicha formación.

Evidentemente ocurre lo mismo en ambos casos de estudio, tanto en el Museo Real Alto como en la Hacienda ESPOL-PECHICHE. Solo existe una diferencia que en el sector de la Hacienda prácticamente la Formación Tablazo aflora en dicho sector, lo que hace que sea más fácil infiltrar agua, es decir no tiene otra formación geológica entre el suelo y la roca almacén.

Por otro lado, en el museo Real Alto existe lo contrario que entre el suelo y la roca almacén existe una capa considerable de arena del Grupo Azúcar con un espesor de alrededor de 20 m que desplaza la infiltración del agua de precipitación y esorrentía a lo largo de esta capa en forma casi horizontal, es decir que en este sector no toda el agua que se infiltra recarga la formación tablazo sino que viaja por medio de las areniscas hacia zonas de menor presión y cotas más bajas.

CAPÍTULO VI

VI. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS

6.1 CALIDAD DE AGUA.

Como parte de este proyecto se realizaron análisis físico químicos de agua para lo cual se tomaron 11 muestras de agua en diversos lugares del área de estudio y además se realizó la toma de 9 muestras de agua durante la prueba de pozo realizada en el Proyecto de abono orgánico.

Los análisis químicos del agua del pozo de la zona de la Hacienda ESPOL-PECHICHE nos da las siguientes conclusiones:

- El agua del pozo evidencia el intercambio iónico que ha recibido de las formaciones geológica que ha percolado, debido ha esto muestra un alto grado de cationes carbonatos, calcio que ha sido tomado de las formaciones de carbonatos cálcico que existen aflorando en la zona.
- El Ph demuestra una alcalinidad débil.
- Los aniones bicarbonatos evidencian una tendencia a una alcalinidad fuerte, se cree que esta es la fuente de la alcalinidad del pozo.
- La salinidad se mantuvo constante a lo largo de todo el ensayo de bombeo.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en los análisis durante la prueba de bombeo.

En la tabla 23 observamos que los valores más altos de salinidad se dan en m3 que es de una muestra tomada en el sector de Chanduy, mientras que en sectores desde la Hacienda ESPOL-Pechiche hasta Manantial de Chanduy , la salinidad se mantiene en un rango de 2 g/l y en m6 de una muestra tomada en Atahualpa los valores de salinidad también llegan a 3 g/l, mientras que en este sector se tiene una salinidad de 1 g/l.

Por los resultados obtenidos, se puede apreciar que la zona con valores más bajos de salinidad está en Prosperidad y en Atahualpa y se puede observar por los análisis de m1, m2 y m3 que la salinidad se incrementa a medida que la muestra esté más próxima a la costa (m3 con salinidad de 3 g/l), además de que se denota una demanda alta en la explotación del agua subterránea en esa zona, por lo cual se ve elevada la salinidad como un indicativo de intrusión marina debida a una sobre explotación el cual es un tema que debe analizarse con más detalle y estudios en esa zona de influencia. Además se tiene una salinidad de 3 g/l en Río Verde.

Se puede plantear como una hipótesis que existe una interconexión entre el acuífero de Prosperidad y el de Atahualpa, o que simplemente sean el mismo acuífero, pero eso no puede concluirse exactamente debido a que se necesita realizar un muestreo más a detalle en Prosperidad y Atahualpa, para poder dar un criterio seguro de lo que se está diciendo, cabe recalcar que en este trabajo se hizo un muestreo aleatorio, con pocas muestras debido a la falta de recursos económicos, por lo cual es recomendable realizar lo antes mencionado para un estudio completo.

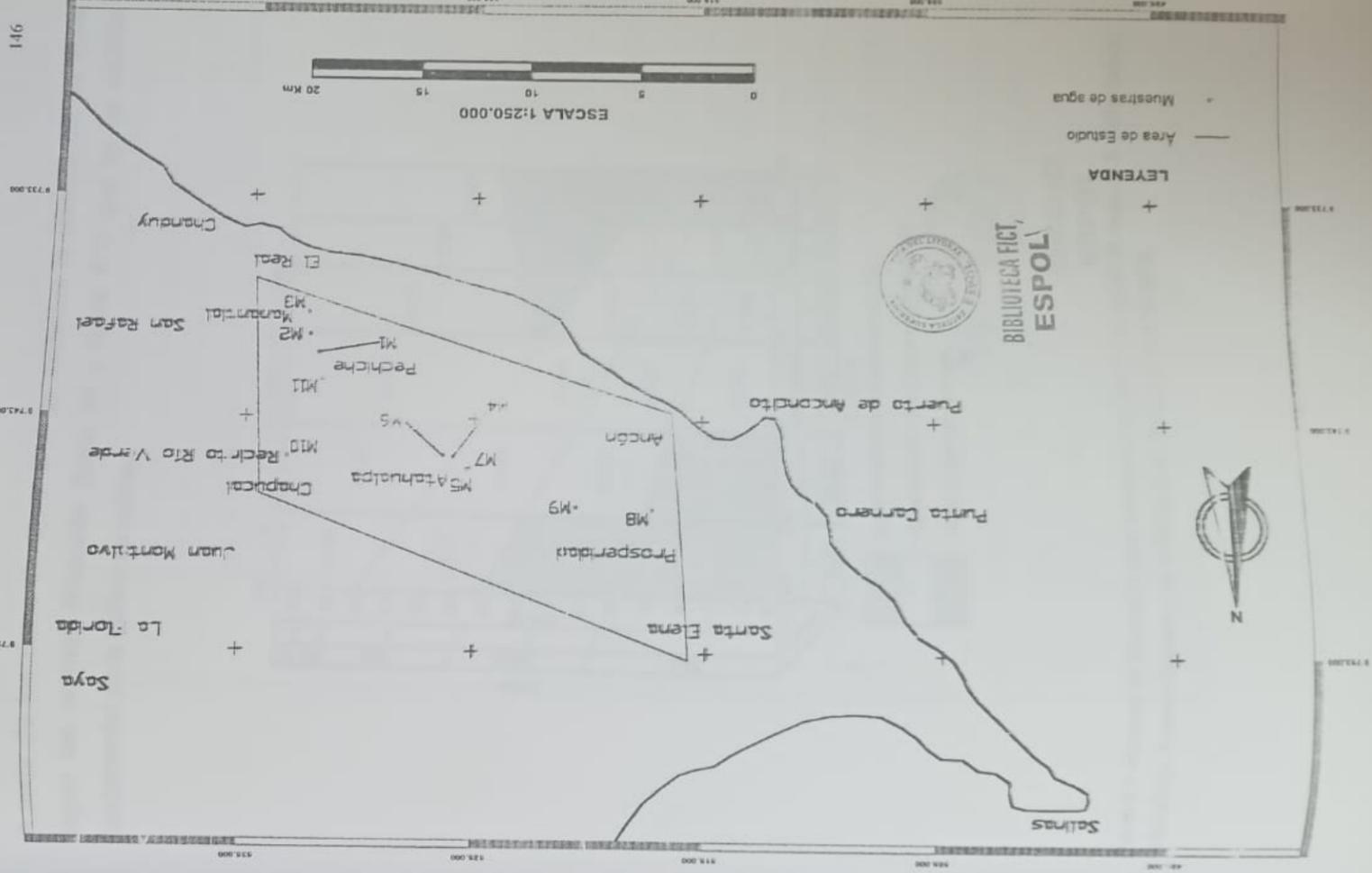
Tabla 23. Análisis de agua en toda el área de estudio

Muestras	PH	Conductividad umhosm -1	Salinidad g/l	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Dureza CaCO ₃ mg/l	Sólidos Totales mg/l	Alcalinidad HCO ₃ mg/l	Sodio mg/l	Potasio mg/l	Magnesio mg/l	Calcio mg/l
m1	7.36	812	2	291	330	354	1246	366	185	8	32	145
m2	7.68	1215	2	606	340	767	1890	354	220	16	44	307
m3	8.06	1461	3	487	309	118	1730	306	390	16	10	112
m4	6.34	82	1	38	20	42	228	128	38	3	2	17
m5	6.13	120	1	13	22	35	446	61	10	5	2	14
m6	8.65	1486	3	534	680	83	1762	300	346	6	210	33
m7	6.86	157	1	7	24	64	158	85	8	4	3	26
m8	7.43	388	1	62	180	218	568	134	35	6	10	86
m9	7.16	725	2	246	350	542	1258	397	98	2	55	217
m10	7.04	928	3	232	590	672	1836	308	131	2	55	248

Mapa 14. Ubicación de muestras de agua.

146

Mapa 14. Ubicación de muestras de agua.



A partir de los datos de CE y SAR se establece la clasificación del agua según las normas Riverside (tabla 24 y figura 6.1) que es un método fundamental para definir su calidad.

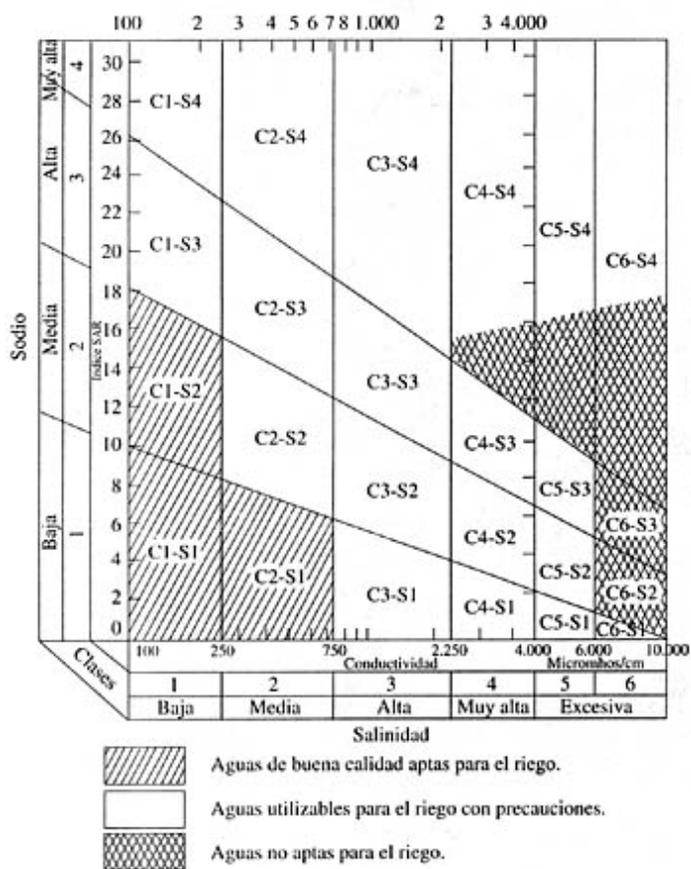


Figura 6.1 -Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.(U.S. Soil Salinity Laboratory). Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA,1973).

Tabla 24.- Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside.

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.

Según esta tabla nuestros resultados dieron una clasificación de C3S1 según Riverside lo cual indica:

C3: 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.

S1: 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.

De esta manera se buscará el uso de cultivos con alta y mediana tolerancia a la salinidad como se lo explica a continuación:

- Tolerancia alta: Palmera datilera, remolacha, algodón, espárrago, espinaca, colza, nabo, cebada, grama.
- Tolerancia media: Vid, olivo, higuera, trigo, maíz, avena, arroz, centeno, sorgo, girasol, patata, col, alfalfa, alcachofa, tomate, pimiento, cebolla, zanahoria, lechuga, habas, soja.
- Tolerancia escasa: frutales de hueso y pepita, agrios, almendro, fresa, haba, judía, guisante, trébol, rábano.

Las aguas de riego tienen fundamentalmente los siguientes iones: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3H^- y CO_3^{2-} . La presencia de estos iones y su concentración, nos permitirá determinar una serie de parámetros que analizaremos a continuación y que definirán la calidad del agua de riego.

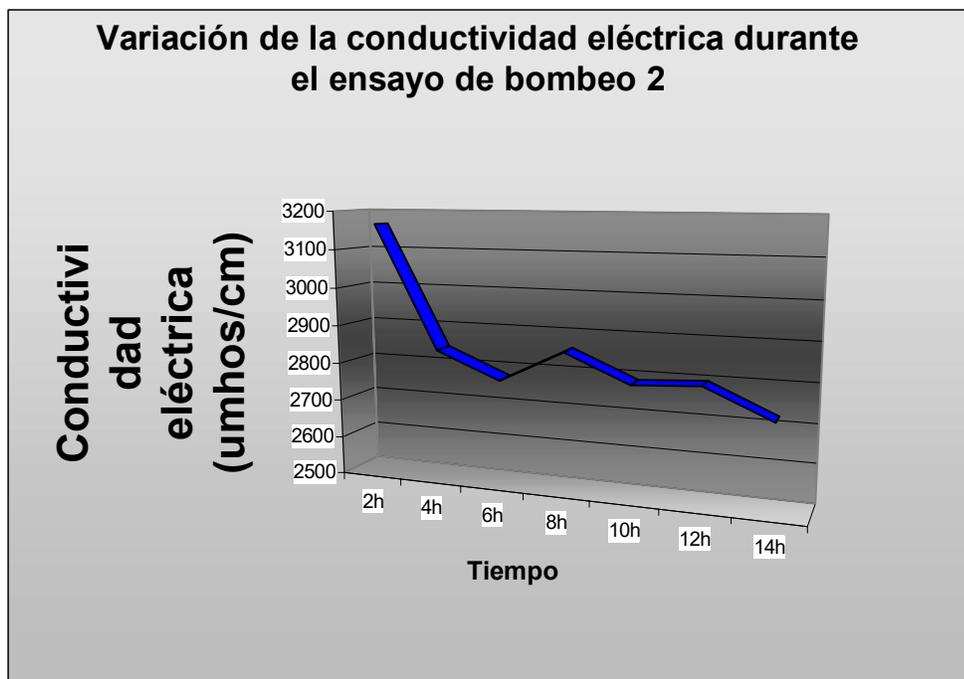


Figura 6.2 Variación de la conductividad eléctrica durante el ensayo

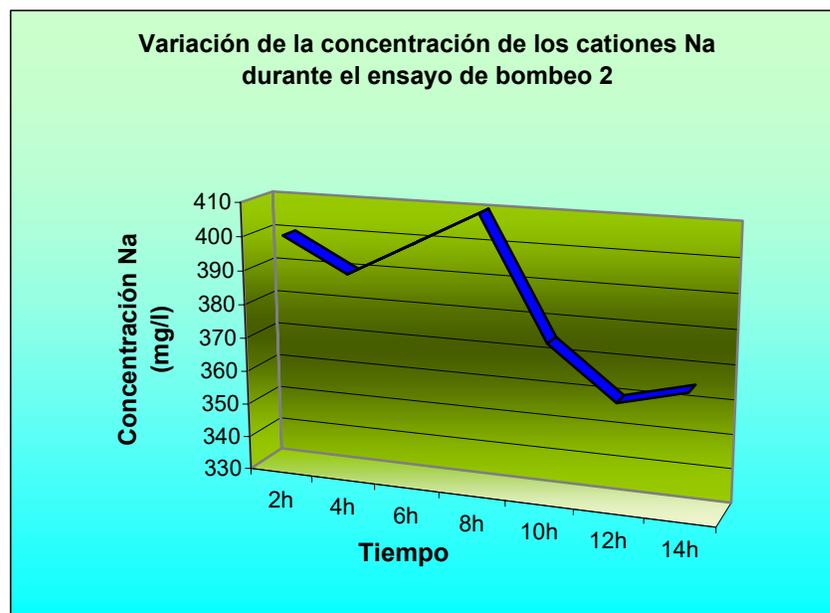


Figura 6.3 Variación de la concentración de cationes Na durante el ensayo

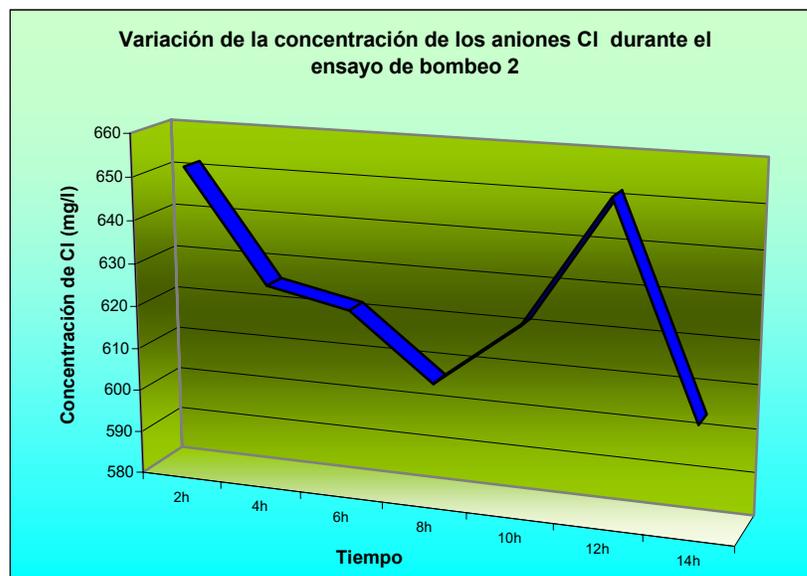


Figura 6.4 Variación de la concentración de aniones Cl durante el ensayo

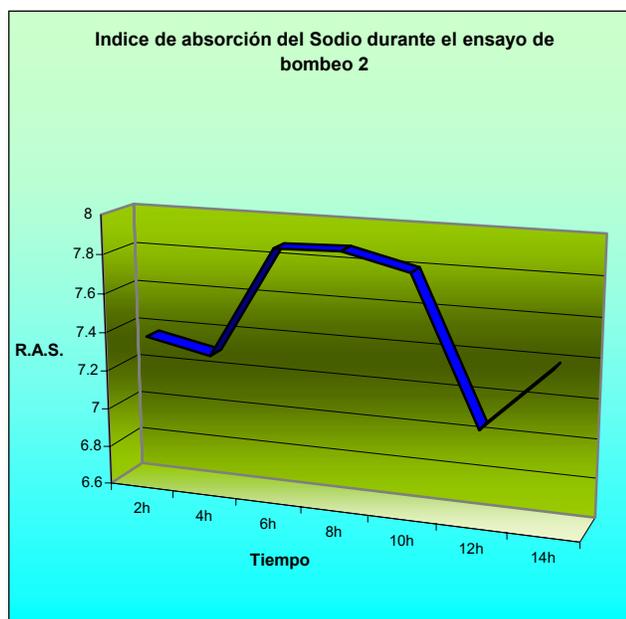


Figura 6.5 Variación del Índice de absorción del sodio durante el ensayo

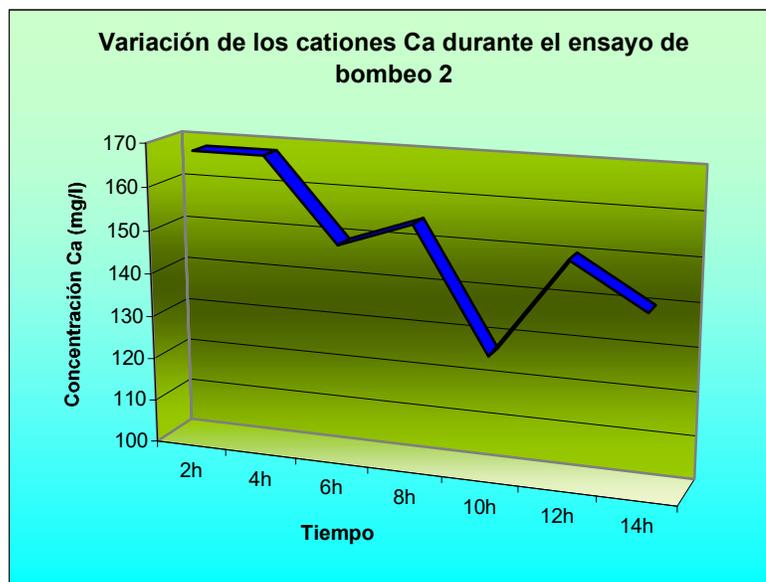


Figura 6.6 Variación de la concentración de cationes Ca durante el ensayo

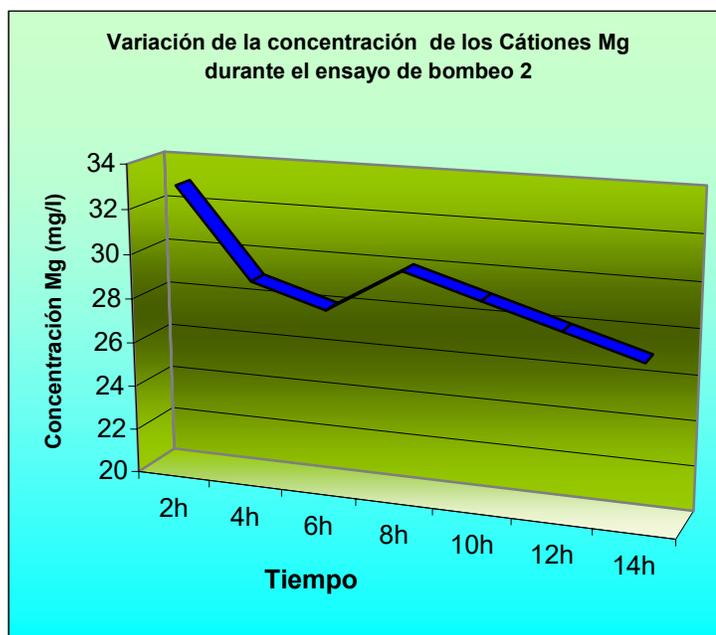


Figura 6.7 Variación de la concentración de cationes Mg durante el ensayo

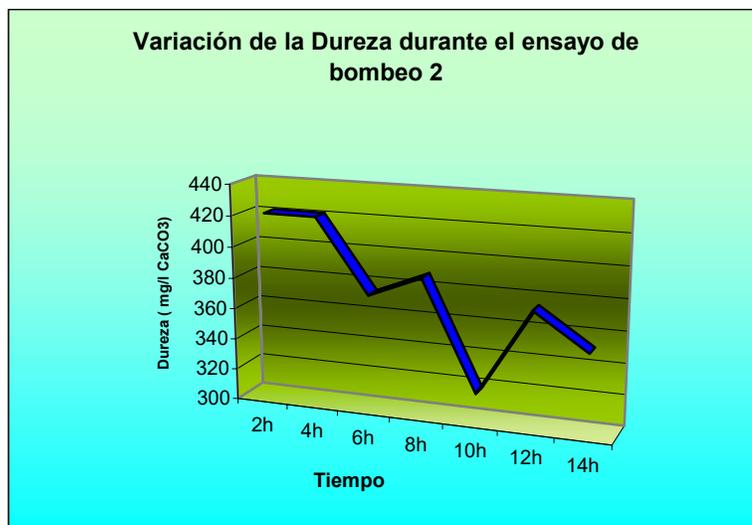
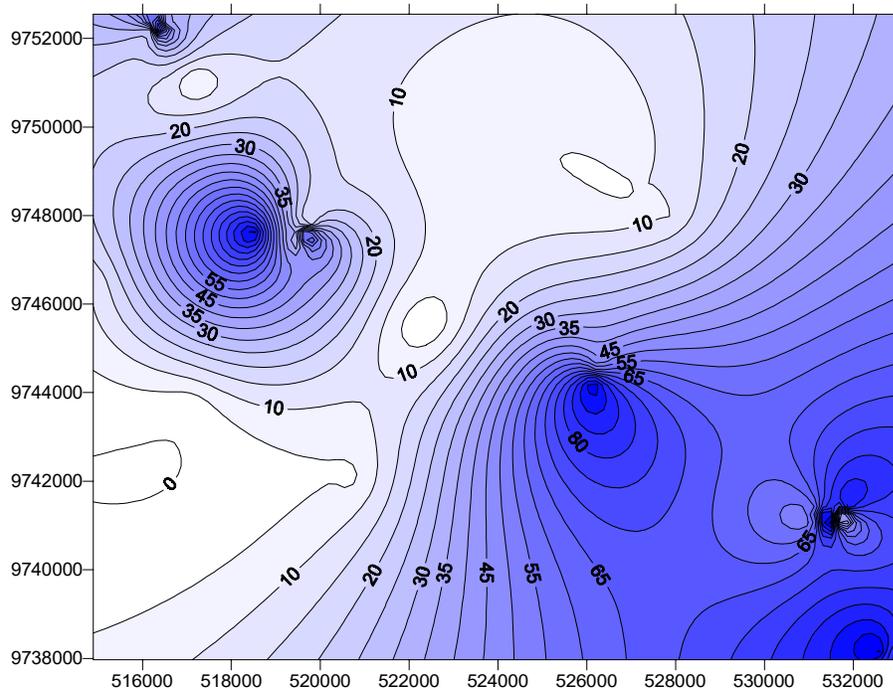


Figura 6.8 Variación de la dureza durante el ensayo

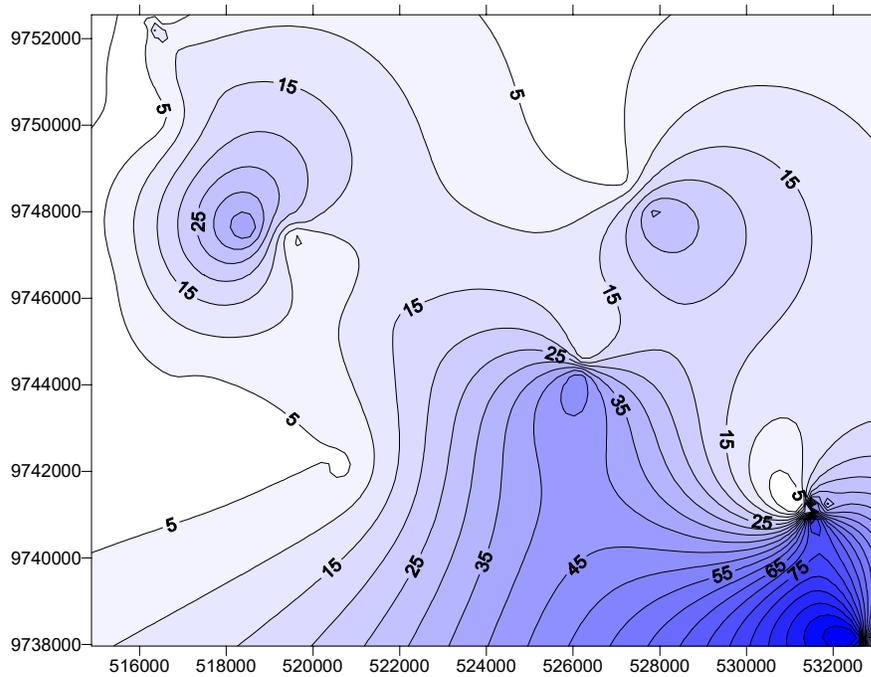
Como puede observarse en las figura 6.2 hasta la figura 6.7 las variación de los rangos de valores para cada componente es pequeña, por lo cual no se observa un cambio brusco en el comportamiento de los valores para cada componente, ya que estos se mantiene en el rango dado.

6.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

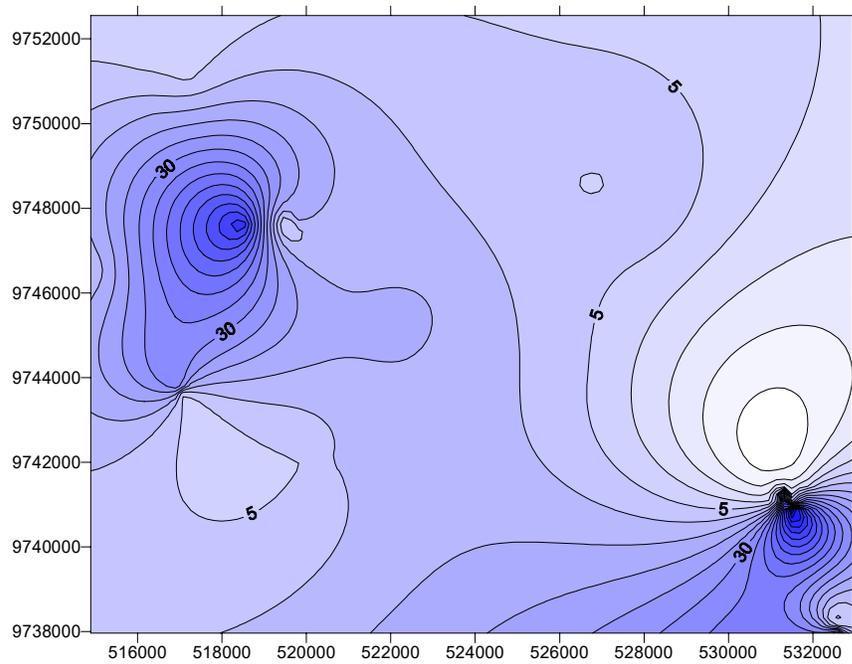
La interpretación de los sondeos eléctricos se realizó con el programa WINSEV y PISE 4 y se hizo una comparación de estos para los sondeos realizados en el Proyecto de la ESPOL en Pechiche, y después se pasó a una correlación con la información geológica, logrando de esta manera correlacionar ambos resultados. Así se obtuvo columnas geoelectricas para cada sondeo y se realizaron cortes geoelectricos y mapas de iso-resistividades para diferentes profundidades, para ver el comportamiento del acuífero en profundidad.



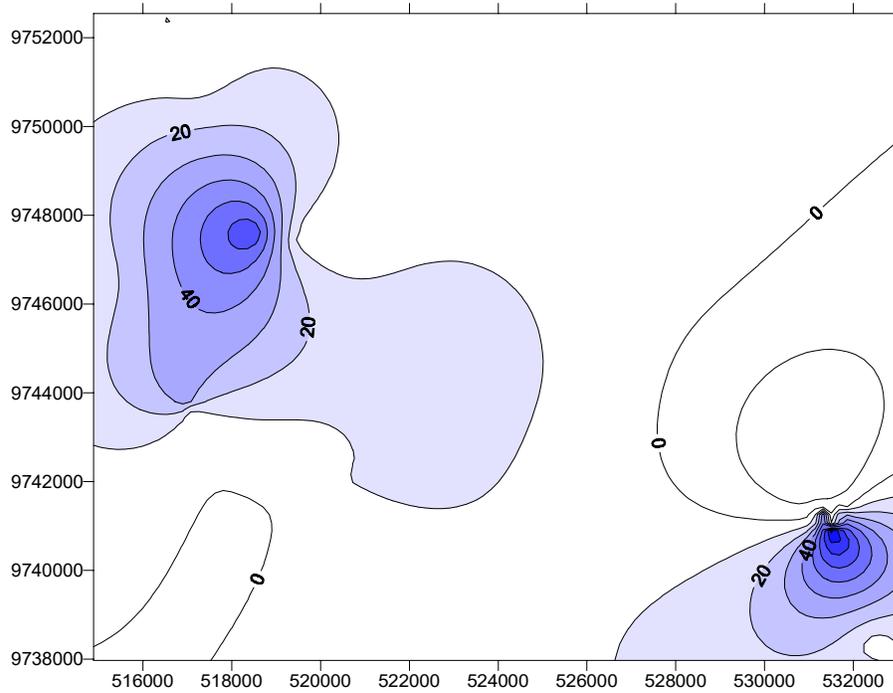
Mapa 15. Valores de Isoresistividades a una profundidad de 15 m.



Mapa 16. Valores de Isoresistividades a una profundidad de 30 m.



Mapa 17. Valores de Isoresistividades a una profundidad de 50 m.



Mapa 18. Valores de Isoresistividades a una profundidad de 100 m.

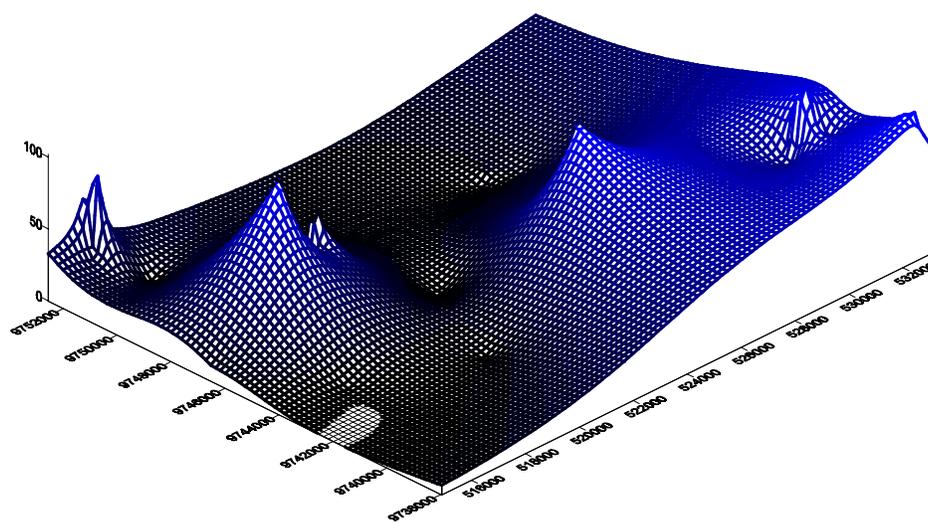


Figura 6.9 Valores de Isoresistividades a una profundidad de 15 m, representación tridimensional.

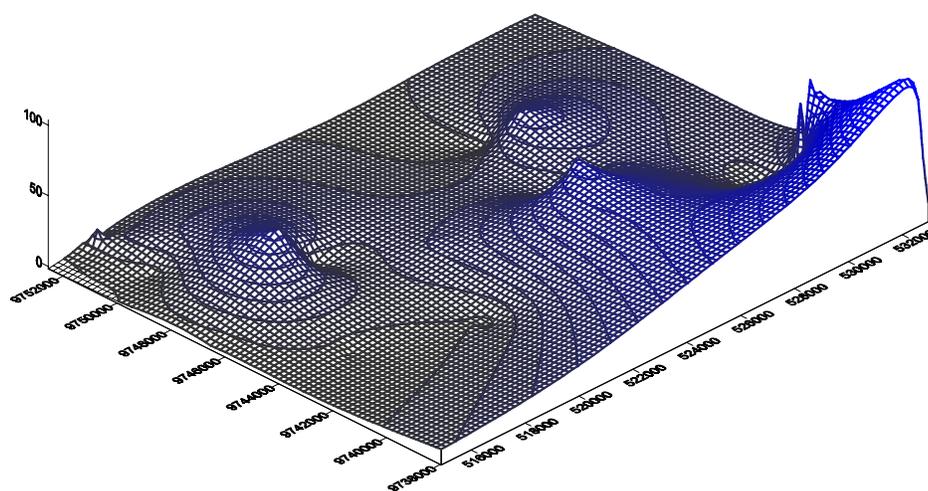


Figura 6.10 Valores de Isoresistividades a una profundidad de 30 m, representación tridimensional.

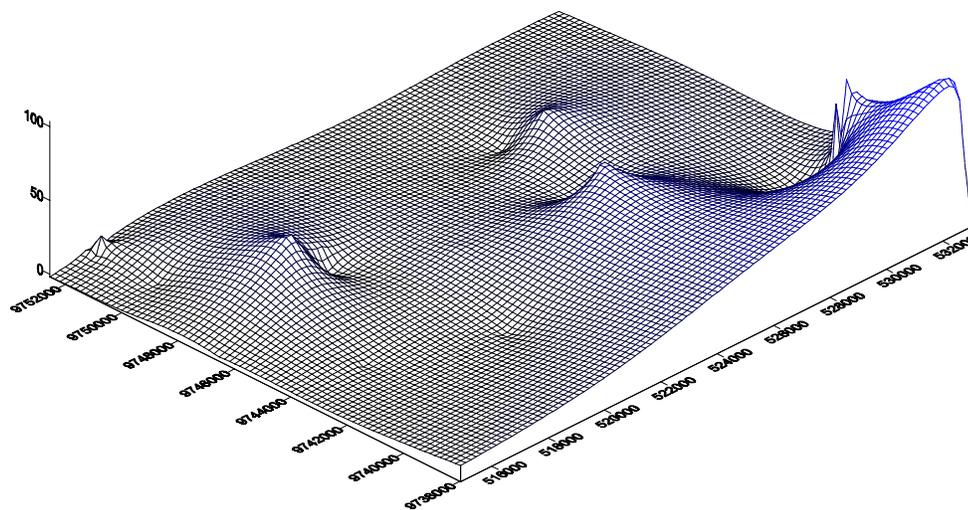


Figura 6.11 Valores de Isoresistividades a una profundidad de 50 m, representación tridimensional.

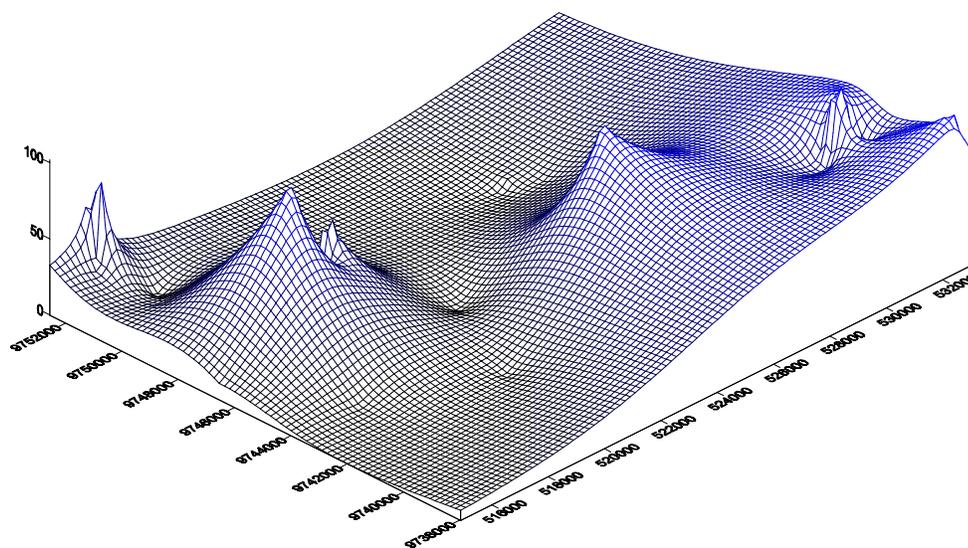


Figura 6.12 Valores de Isoresistividades a una profundidad de 100 m, representación tridimensional.

Según estos mapas de iso-resistividades realizados a diferentes profundidades nos ayudó a identificar de manera gráfica las zonas potencialmente acuíferas según sus valores de resistividades, en estos gráficos las zonas color azul son las mejores zonas con valores de resistividades altos, y los valores de resistividades bajos se encuentran en las áreas con color negro.

En estas figuras podemos observar que las áreas más importantes son Pechiche, Prosperidad y Atahualpa, en orden de importancia, y se observa que estas tres zonas mantienen sus altas resistividades hasta profundidades de 100m, pero en Atahualpa, por los valores de resistividad se observa que para esta zona los valores de resistividad son más bajos (10-20 Ω m) que en las otras dos zonas lo cual nos indica que esta agua es más salobre que en los otros sectores, mientras que en las otras dos zonas encontramos resistividades entre 20-60 Ω m, lo cual nos indica un agua más dulce.

De esta manera hemos identificado el área de cobertura de cada acuífero, escogiendo solo las zonas de coincidencia entre los mapas de iso-resistividades a diferentes profundidades, luego de hacer una superposición de estos, por lo cual las áreas coincidentes serán las áreas más seguras para la explotación de aguas subterráneas.

6.3 PRUEBA DE POZO.

Pozo ensayado: Pozo ubicado en el Proyecto de Abono Orgánico de la ESPOL.

Tipo de prueba: Bombeo a caudal constante (Q=6 l/s). Se ha observado la variación de los niveles en el pozo de bombeo durante el descenso.

Parámetros calculados: Transmisividad (T) y permeabilidad (K).

Litología del acuífero: Conglomerados calcáreos con microfósiles y mega fósiles (coquina).

Método de interpretación: Jacob.

Dado que no se disponía de piezómetros de observación, solamente se ha calculado el valor de T y K.

El caudal se midió por tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido.

La duración de los ensayos de bombeo fue de 3 horas para la Prueba 1 y de 14 horas para la Prueba 2, no se necesitó mas de 14 horas debido a que el pozo esta ubicado en un acuífero libre por lo cual se alcanza una rápida estabilización de niveles haciendo inútil la prolongación del bombeo.

Una vez instalada la bomba se valoró el pozo mediante la realización de 2 bombeos de uno de corta duración y otro de larga duración, estos bombeos sirvieron de tanteo para la elección del caudal mas conveniente. El caudal escogido fue de 6 – 7 l/s, ya que con este caudal de bombeo no se provocó un descenso muy marcado del nivel del agua y está dentro de los límites de capacidad de la bomba.

Se aconseja teóricamente que el caudal de bombeo no provoque descensos superiores a los 2/3 de la columna total de agua para mantos cautivos y 1/3 en el caso de mantos libres, lo cual se cumple en nuestro caso.

Según los valores obtenidos de transmisividad y permeabilidad, nos encontramos con una calificación estimativa media del pozo, lo cual indica que las posibilidades del pozo y del acuífero son muy buenas para la zona.

Solo se realizó la valoración del pozo ubicado en el acuífero libre pero si se realizara la valoración del acuífero semiconfinado conviene tener en cuenta los valores de la permeabilidad de los materiales semipermeables (arcillas algo arenosas), en estos la K suele estar 10^{-3} un valor medio representativo que se usa con mucha frecuencia, Los terrenos impermeables tienen valores de K inferiores a los 10^{-4} m/día.

6.4 INTERPRETACIÓN CONJUNTA.

En base a la experiencia de las personas que habitan en este sector ya que ellos toda su vida se han abastecido con agua de pozo, por lo cual ellos tiene mucha experiencia en la construcción de los pozos someros cercanos a los cauces de los ríos, debido a que conocen el terreno, en base a esta experiencia y en base a los estudios de iso-resistividades en el suelo y de toda la información recopilada, hemos encontrado tres zonas muy importantes:

Según la correlación de los resultados de los Sondeos eléctricos verticales y el Perfilaje de pozos realizados por el INERHI en 1986 (registros eléctricos de Resistividad y potencial espontáneo), se determinó en Atahualpa un acuífero semiconfinado, que se encuentra a las 50m de profundidad con un espesor promedio de 50-70m, los valores de resistividades fueron entre 10 a 20 ohm-m, lo cual indica que en esta zona existe presencia de agua un poco más salobre, además de que existen presencia de arcillas combinado con el conglomerado calcáreo.

En Pechiche se encontró que a partir de los 5m hasta los 100m de profundidad, las resistividades son altas y están entre 10 a 60 ohm-m y con

un potencial espontáneo 10 a 20mV, lo cual nos indica la presencia de acuífero freático muy importante.

En Prosperidad se encontró que a partir de los 4m hasta los 25m de profundidad, las resistividades son altas y están entre 10 a 40 ohm-m, lo cual nos indica la presencia de acuífero freático muy importante, además que en este sector tenemos la presencia de un manantial el cual es un indicativo del potencial de acuífero en superficie.

Según los mapas de isoresistividades realizados en Surfer se obtuvo el área de cobertura de cada acuífero, así mismo se ha determinado un valor promedio del espesor según los estudios geofísicos.

Ver en Mapa 12, de Sistemas Acuíferos más importantes encontrados en el área de estudio.

Unidad Acuífera 1.

Tipo de Acuífero: Acuífero freático.

Localización: esta unidad abarca las poblaciones de Pechiche, Manantial, Chapucal y Río Verde.

Litología del acuífero: Conglomerado calcáreo con mega fósiles y microfósiles (Coquina), de la F. Tablazo. Podemos observar afloramientos de esta roca en el Barrio 9 de Octubre, Simón Bolívar en Pechiche y a la entrada de Chapucal.

Estructuras: la estructura favorable para el almacenamiento de agua subterránea la constituye el mismo cauce del río que actúa como un reservorio, alimentado por la Formación Tablazo.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente la cuenca del río verde ha desarrollado esta unidad acuífera, encontrando zonas muy importantes de recarga como

lo son: las poblaciones de Pechiche y Manantial. En esta zona se observa la presencia de un manantial en el Proyecto de Abono Orgánico de la ESPOL.

Área de cobertura del acuífero: 29 Km².

Espesor promedio del acuífero: 50 m.

Porosidad efectiva: 20%.

Volumen: 290'000.000 m³.

Rata de producción permitida por el acuífero: 6 l/s, 21.6 m³/hora, 189216 m³/año.

Promedio de vida: 1500 años para un pozo.

Unidad Acuífera 2.

Tipo de Acuífero: Acuífero freático.

Localización: esta unidad se encuentra en la población de Prosperidad

Litología del acuífero: depósito no consolidado compuesto de arenas, arcillas y gravas.

Estructuras: El río El Tambo con terrazas aluviales de potencia de 12 m de promedio, es una estructura de almacenamiento y transporte de agua.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente la cuenca del río Tambo ha desarrollado esta unidad acuífera (valle aluvial del río)

Área de cobertura del acuífero: 8 Km²

Espesor promedio del acuífero: 12 a 20 m

Porosidad efectiva: 27 al 30%,

Volumen: 48'000.000 m³

Rata de producción permitida por el acuífero: 2 l/s.

Promedio de vida: 200 años para un pozo.

Unidad Acuífera 3.

Tipo de Acuífero: acuífero semiconfinado.

Localización: esta unidad se encuentra localizada cerca de Atahualpa.

Litología del acuífero: Conglomerado calcáreo con megafósiles y microfósiles (Coquina), de la F. Tablazo.

Estructuras: La disposición de las capas que en épocas invernales recibe agua por incidencia de los ríos Engabado y El Tambo.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente una cobertura de material semipermeable compuesto por la mezcla de arenas y arcillas en menor proporción. Esta última le da características semipermeables.

Área de cobertura del acuífero: 19 Km².

Espesor promedio del acuífero: 50 m.

Porosidad efectiva: 20%.

Volumen: 190'000.000 m³.

Rata de producción permitida por el acuífero: 3 l/s.

Promedio de vida: 500 años para un pozo.

Construcción del Pozo del Proyecto ESPOL-PECHICHE.

Como parte de los resultados obtenidos se planteó el siguiente diseño de construcción del pozo de explotación. Este pozo capta el agua del manto freático (pozo raso, freático, noria o somero), ubicado el Proyecto de Abono Orgánico de la ESPOL en Pechiche, este pozo capta su agua del acuífero conformado por el conglomerado calcáreo, también denominado popularmente coquina.

Método constructivo.

Se realizó una perforación de prueba (perforación inicial) de diámetro 8 ½" con una profundidad de 25 m y, una vez constatada la litología esperada según los resultados de geoelectrónica, se procedió a perforar (reperforación) de 12 ½" para la construcción del pozo final, el cual tiene un entubado de PVC de diámetro 200 mm, con filtro en su parte inferior (realizado con ranuras, según las mejores zonas de la columna litológica) y con

empaquetamiento de gravillas entre la pared del pozo y el entubado, así mismo se colocó gravilla en el fondo del pozo. Para finalizar su construcción se realizó para protección una loza de hormigón y una caseta para el tablero de control.

Equipo de bombeo.

Los equipos de bombeo más utilizados en los pozos son bombas centrífugas denominadas para pozo somero. Estos equipos se instalan por encima de la noria y toman agua de ésta mediante aspiración. Tales bombas pueden emplearse tanto en norias como en pozos profundos, mientras el nivel de bombeo se halle dentro de la capacidad de succión o aspiración de la bomba. Actualmente se está incorporando bombas sumergibles a las captaciones del tipo noria, debido a sus ventajas operativas en cuanto a la posibilidad de desplazarlas verticalmente ante descensos del nivel de agua, su menor requerimiento de mantenimiento y funcionamiento más eficiente. El mejor funcionamiento de las bombas para pozos profundos radica en el hecho de disponer de una aspiración sumergida, lo que permite bombear con mayores presiones de succión, reduciendo así la posibilidad de que se produzca cavitación.

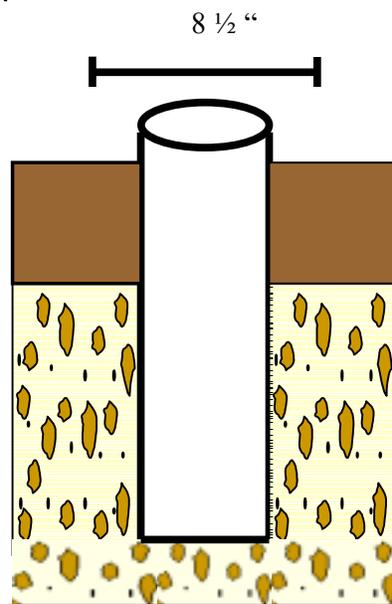


Figura 6.13. Pozo de Pueba.

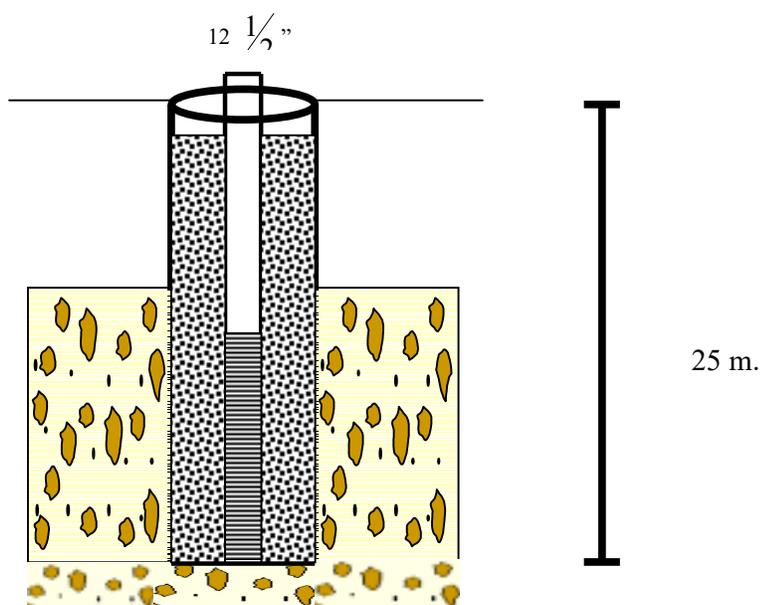


Figura 6.14. Diseño del pozo propuesto.

6.5. USOS POTENCIALES DEL AGUA EN LA ZONA.

La Península de Santa Elena por considerarse uno de los sectores más productivos del país, se puso en marcha el Proyecto Traslase Daule-Santa Elena para potenciar la agricultura, pero este sistema para riego ha resultado muy caro para las personas de las comunas.

En la actualidad no se aprovecha todo el terreno que poseen las personas de las comunas debido a las limitaciones que tienen como son la falta de orientación tecnológica y disponibilidad de créditos. Todo esto hace que los verdaderos dueños que son los comuneros, estén actualmente vendiendo sus mejores tierras a precios insignificantes, alejando de este modo a los pequeños agricultores y haciendo que estos terrenos sean adquiridos por empresas camaroneras y agrícolas, lo cual solo permite el desarrollo del sector empresarial y no el desarrollo económico y social de la Comuna.

Las fuentes de ingresos principales en la zona son:

Turismo.

el petróleo.

empresas camaroneras.

empresas agrícolas.

explotaciones pecuarias propias.

explotaciones agrícolas propias.

trabajos en las ciudades .

Por lo cual esta tesis esta orientada hacia el empleo del agua para el desarrollo agropecuario y abastecimiento de agua potable en áreas rurales.

6.5.1 Usos agrícolas.

Los principales productos tradicionales que poseen en la zona son: tomate, pimiento, melón, sandía, guayaba, guanábana, mango entre otros, y uso en las pasturas para alimento del ganado.

La experiencia del cultivo de espárragos hace que la gente de la comuna se interese por aprovechar el potencial de los cultivos no tradicionales de exportación que lo que busca es el desarrollo de la agroindustria ya que las condiciones ambientales se prestan para la producción de frutas y hortalizas para la exportación. De esta manera la ESPOL lleva proyectos agrícolas en Zapotal y Pechiche en conjunto con los comuneros.

Estudios de investigación realizados por el CEDEGE, CIP (Centro Internacional de la Papa), INIAP de Israel en 1999 dieron a conocer que el cultivo comercial de papa es factible en la Península de Santa Elena entre los

meses de mayo y septiembre para la producción de papas, este proyecto fue planteado debido a que la Costa ecuatoriana se provee de papa casi exclusivamente de la Sierra, entonces lo que busca es una fuente de aprovisionamiento más cercana para reducir costos de transporte y de intermediarios.

6.5.2 Usos Pecuarios, Avícolas y Camaroneros.

Entre las especies animales que mas se crían en la zona tenemos:

Ganado vacuno, bovino.

Criaderos de Chivos.

Granjas avícolas.

Empresas camaroneras.

Las personas que han vivido siempre aquí en estas tierras han vivido de la cría de ganado vacuno y chivos, con respecto a esto la ESPOL lleva un proyecto que tiene que ver con la cría de chivos en el sector, así mismo la ESPOL ayuda a las granjas Avícolas de los pequeños comuneros, como lo esta haciendo en Prosperidad.

Durante 1999-2000 se cerraron más de la mitad de las camaroneras debido a la incidencia de la enfermedad conocida como "mancha blanca". Por lo cual se creó el proyecto de: "Acuicultura sustentable libre de patógenos", que simplemente es el uso de aguas subterráneas en la acuicultura para evitar el virus de la mancha blanca que afecto a muchos países de Latinoamérica, estas investigaciones dieron buenos resultados por lo cual se han asentado muchas camaroneras alrededor de las costas lo cual ocasiona que se acelere el proceso de la intrusión salina haciendo que los comuneros que

viven en los alrededores comiencen a sentir el sabor más salobre que han adquirido sus aguas.

6.5.3 Usos Forestales.

La importancia de los recursos forestales, ha tomado importancia actualmente debido a la búsqueda de la reforestación de la zona y debido al interés de microempresarios en desarrollar Proyectos de especies maderables de corto y largo plazo, lo cual evitaría la tala exagerada de árboles, ya que así se educaría a los artesanos en la madera a la siembra de árboles de crecimiento corto para su posterior utilización en las artesanías que se desarrollan en el sector de Atahualpa y El Tambo, de esta manera se educaría a los comuneros de que por cada árbol que corten se siembre por lo menos uno más ya que estos serán las fuentes de sus propios ingresos posteriormente.

6.5.4 Abastecimiento de agua potable en las áreas rurales.

La mayoría de los abastecimientos de agua para consumo humano se hace a través de la creación de Juntas de agua Potable, las cuales están integradas por los mismos comuneros, el sistema de abastecimiento que ofrece las Juntas constan de:

Fuente de abastecimiento: Pozos de 35 m de profundidad y 6' de diámetro.

Caseta: donde se encuentra un equipo de desinfección electrolítica in situ a base de la aplicación de hipoclorito de sodio, este equipo consiste en crear hipoclorito de sodio como una solución líquida en concentraciones

convenientes para aplicar en los abastecimientos de agua para desinfección y además posee un tablero de control.

Equipo de bombeo: consta de una bomba sumergible de 5 hp y tubería de 2'.

Tanque de almacenamiento: de hormigón armado generalmente con una capacidad de 100m³, para abastecer a aproximadamente 200 familias.

6.6 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN POZO.

En la actualidad, el costo de agua distribuida por AGUAPEN es de 0.48 USD/m³, mientras que el agua que se distribuye en Guayaquil tiene un valor de 0.229 USD/m³ sin contar los inconvenientes que ocasiona el no estar dentro del área de influencia. Por estas razones ha existido mucho descontento de parte de la comunidad, por lo que se han visto obligados a crear un Frente Patriótico que ha pedido en representación de toda la comunidad, que la ESPOL, actúe de intermediario entre las negociaciones entre Aguapen y los usuarios, para que sea la ESPOL quien designe un tarifa justa para el m³ de agua potable.

Por todo esto se busca sistemas de riego y abastecimiento más económicos, como es el de riego por goteo con agua de pozo, que lo que busca es desarrollar el sector agropecuario, forestal, y camaronero de la zona.

A continuación se hace un análisis sobre los costos de la implantación de un pozo somero con una profundidad de 30 m para captación de aguas subterráneas, para uso privado y el otro es un costo del sistema de agua

potable, del año 1999 realizado por la Junta de Agua Potable de Unión y Progreso.

Cabe recalcar que estos costos varían mucho dependiendo del tipo de acuífero que se esté explotando, del tipo de diseño y construcción del pozo y dependiendo del equipo de bombeo escogido, por lo cual se presenta dos cotizaciones de construcción de pozos, el primero para abastecimiento personal y el siguiente para abastecimiento para una comuna.

Tabla 25. Presupuesto para la instalación de un pozo somero de 30m de profundidad para uso personal. (datos del año de 2001).

Concepto.	Unid.	Cant.	V. Unit	V. Total.
Traslado e instalación del equipo de perforación.	Global	1	400	400
Perforación exploratoria de 8 ½”.	m	30	50	1500
Reperforación con broca tónica de 12”.	m	30	25	750
Tubería de PVC de 200mm Plastigama de 145.	m	30	20	600
Filtros ranurados en Tubería PVC de 200mm.	m	15	5	75
Entubado De pozo con Tubería de PVC de 200mm.	m	30	5	150
Grava seleccionada para pozo.	m ³	6	30	180
Limpieza y desarrollo del pozo con compresor.	Horas	16	30	480
Prueba de bombeo con compresor.	Horas	8	30	240
Análisis químico del agua e informe técnico con memorias.	Global	1	60	60
Bomba Centrífuga de succión.				3000.00
Valor total del pozo terminado.				7435.00
IVA 12%.				892.2
Valor a Pagar.				8327.2

Tabla 26. Presupuesto para la instalación de un Pozo para una Junta de Agua Potable.
(datos del año de 1999).

Concepto.	Valor.
El pozo de 35m de profundidad y diámetro de 6.’ Filtro galvanizado, tubo de acero. Bomba sumergible de 5hp y Tubería de 2’. Tablero de control eléctrico. Dosificador plástico. Equipo cloril. Caseta. Red de tuberías PVC con conexiones domiciliarias.	15000 USD.
Tanque de almacenamiento de hormigón armado de 100 m ³ y 15 m de altura.	11000 USD.
Costo total del sistema.	26000 USD (dato del año de 1999).

Debo recalcar que el uso de agua subterránea en áreas rurales como en la Península de Sta. Elena es necesario por ser esta, una fuente de abastecimiento más económica para uso humano y para el desarrollo agropecuario.

CAPÍTULO VII.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

- En este Proyecto de Tesis, en base a los estudios, se han establecido tres unidades acuíferas, las cuales se describirán a continuación (ver mapa 19):

Unidad Acuífera 1.

Tipo de Acuífero: Acuífero freático.

Localización: esta unidad abarca las poblaciones de Pechiche, Manantial, Chapucal y Río Verde.

Litología del acuífero: Conglomerado calcáreo con mega fósiles y microfósiles (Coquina), de la F. Tablazo. Podemos observar afloramientos de esta roca en el Barrio 9 de Octubre, Simón Bolívar en Pechiche y a la entrada de Chapucal.

Estructuras: la estructura favorable para el almacenamiento de agua subterránea la constituye el mismo cauce del río que actúa como un reservorio, alimentado por la Formación Tablazo.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente la cuenca del río verde ha desarrollado esta unidad acuífera, encontrando zonas muy importantes de recarga como lo son: las poblaciones de Pechiche y Manantial. En esta zona se observa la presencia de un manantial en el Proyecto de Abono Orgánico de la ESPOL.

Área de cobertura del acuífero: 29 Km².

Espesor promedio del acuífero: 50 m.

Porosidad efectiva: 20%.

Volumen: 290'000.000 m³.

Rata de producción permitida por el acuífero: 6 l/s, 21.6 m³/hora, 189216 m³/año.

Promedio de vida: 1500 años para un pozo.

Unidad Acuífera 2.

Tipo de Acuífero: Acuífero freático.

Localización: esta unidad se encuentra en la población de Prosperidad.

Litología del acuífero: depósito no consolidado compuesto de arenas, arcillas y gravas.

Estructuras: El río El Tambo con terrazas aluviales de potencia de 12 m de promedio, es una estructura de almacenamiento y transporte de agua.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente la cuenca del río Tambo ha desarrollado esta unidad acuífera (valle aluvial del río).

Área de cobertura del acuífero: 8 Km².

Espesor promedio del acuífero: 12 a 20 m.

Porosidad efectiva: 27 al 30%.

Volumen: 48'000.000 m³.

Rata de producción permitida por el acuífero: 2 l/s.

Promedio de vida: 200 años para un pozo.

Unidad Acuífera 3.

Tipo de Acuífero: acuífero semiconfinado.

Localización: esta unidad se encuentra localizada cerca de Atahualpa.

Litología del acuífero: Conglomerado calcáreo con megafósiles y microfósiles (Coquina), de la F. Tablazo.

Estructuras: La disposición de las capas que en épocas invernales recibe agua por incidencia de los ríos Engabado y El Tambo.

Hidrogeología: Hidrogeológicamente una cobertura de material semipermeable compuesto por la mezcla de arenas y arcillas en menor proporción. Esta última le da características semipermeables.

Área de cobertura del acuífero: 19 Km².

Espesor promedio del acuífero: 50 m.

Porosidad efectiva: 20%.

Volumen: 190'000.000 m³.

Rata de producción permitida por el acuífero: 3 l/s.

Promedio de vida: 500 años para un pozo.

- La caracterización geoelectrica permitió establecer valores de resistividad entre 10 Ω .m a 60 Ω .m para el conglomerado calcáreo de la F. Tablazo, de 10 Ω .m cuando se trataba de una coquina o con agua más salobre y de grano mas pequeño y 60 Ω .m para la coquina con una granulometría mayor con agua más dulce. Las arcillas dan valores de resistividad muy diferenciados con la capa anterior ya que estos valores oscilaban entre 1 Ω .m a 5 Ω .m.
- Los análisis de calidad de agua de pozo dan una clasificación C3S1-C3S2 (según la clasificación de agua para riego de Riverside), que indica agua de mediana salinidad con una baja peligrosidad sódica. Esta agua pueda ser usada para riego, pero con ciertas limitaciones para algunos tipos de cultivos.
- En general, las muestras de agua de pozos están influenciadas por la cercanía al mar. Así, cuanto más cerca al océano, mayor salinidad, y cuanto más lejano del mismo, menor salinidad (m³ con salinidad de 3 g/l).

COLEGIO TÉCNICO SANTA ELENA.

- La zona más apropiada para construir un pozo de agua subterránea es en el punto del SEV-01. La profundidad a la que se encontraría el agua sería entre los 50 m y los 70 m. Cabe indicar que el agua es algo más salina en esta zona y, además es agua dura (alto contenido de iones Na⁺ y Ca⁺).

- En esta zona se podría gestionar la construcción de albardas para abastecimiento en época invernal. En temporada seca se usaría el/los pozos.
- Se podría construir una albarda en la parte posterior del colegio cuya capacidad estará condicionada por la morfología del terreno.

ANCÓN.

- El lugar más apropiado para realizar pozos sería el ubicado en el SEV-13 y SEV-14. En síntesis se podría encontrar agua a una profundidad entre 45 m y 60 m, pero con limitaciones de calidad por la salinidad.
- En la zona se están implementando albardas tipo familiares. El sitio en que se realizaron los sondeos es muy recomendable para realizar albardas, que con la adecuada preparación del terreno estarían aptas para entrar en funcionamiento.

PROSPERIDAD.

- Existe en la zona de estudio un manantial. En toda la zona se estimó que la profundidad del estrato que podría captar agua oscilaba entre 0 m a 1.5 m y tendría un espesor de 15 m en promedio. A profundidad no se pudo encontrar otro estrato con características parecidas a la anterior.
- En este sitio se encontró una morfología más abrupta que la de Santa Elena y Ancón. Por tanto las albardas que se realizarían en estos sectores deberían estar diseñadas para prevenir los sobre flujos y la erosión aguas abajo.

- El agua es de mejor calidad en este sector que en todos los otros sitios de estudio debido, a ser un estrato más somero y menos contaminado.
- El agua está almacenada en un estrato somero conformado por arenas gruesas y gravas de un aluvial antiguo, que ha servido como capa de transporte para el agua que proviene de cotas más elevadas.

ATAHUALPA.

- La zona más óptima para realizar pozos está ubicada a 2 Km. al norte de la población de Atahualpa. Se ha estimado que la profundidad de la capa potencialmente apta para almacenar agua esta alrededor de 30 m hasta 100 m.
- Al sur de la población de Atahualpa, la cuenca del río Engabado pasa a 3° orden, donde su alimentación es más considerable, por otro lado su morfología es más suave que aguas arriba. Se podría emprender una campaña para encontrar lugares factibles para albarradas.

HACIENDA ESPOL-PECHICHE.

- La capa más favorable por tener mejor capacidad para almacenar y transportar agua es la capa formada por la Formación Tablazo que esta formada por una roca denominada coquina, cabe recalcar que esta agua por los resultados de resistividad obtenidos, puede tener una concentración de sales de baja a media. Esta capa se encuentra a partir de 6 m de profundidad, con un espesor de 50 m aproximadamente.
- Para el caso de la Hacienda ESPOL-PECHICHE, mediante el ensayo de bombeo, se obtuvo el rendimiento del acuífero que fue de 6 l/s. Según los

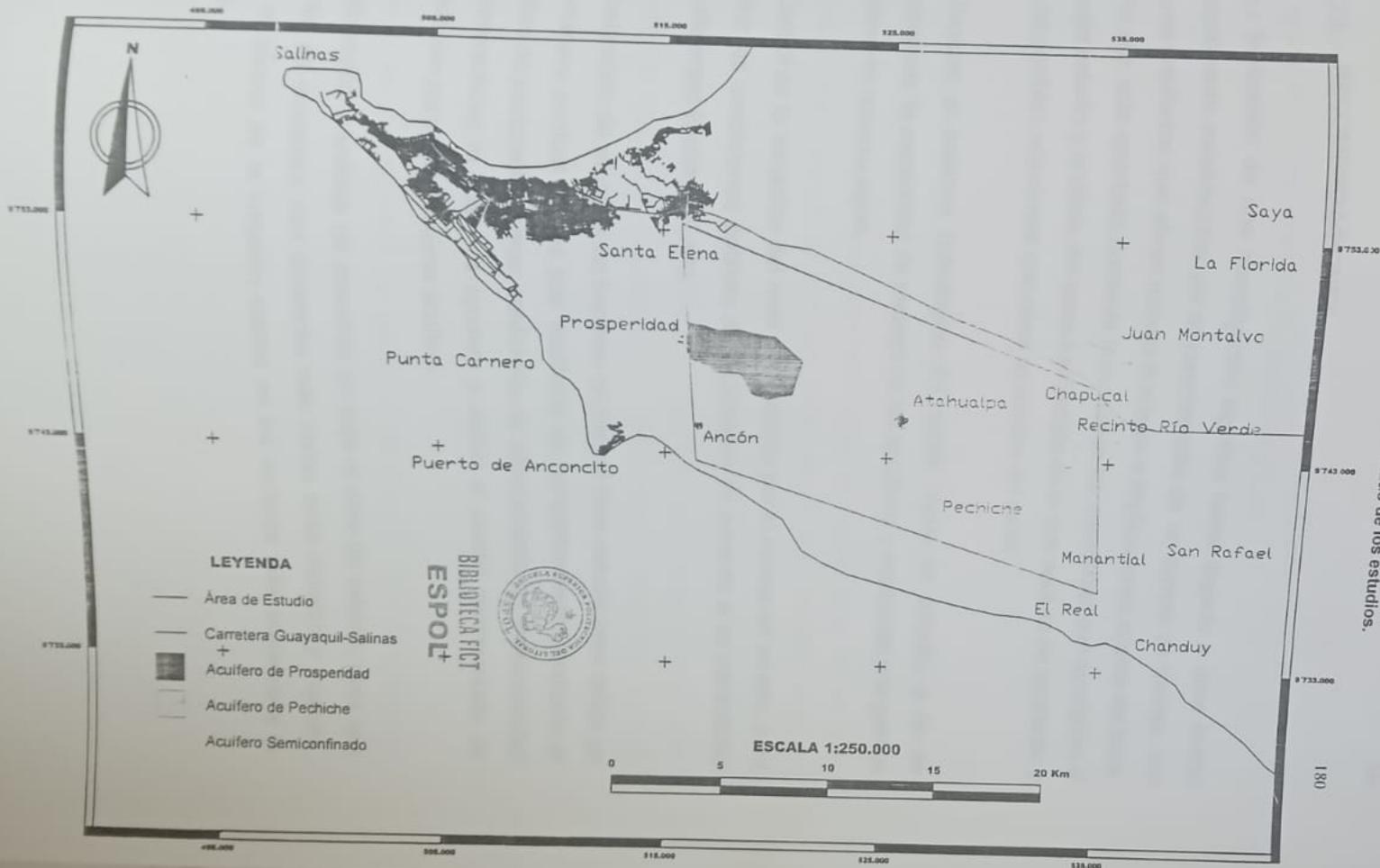
técnicos que laboran en la hacienda, los requerimientos propios de la hacienda son de 125 m³/día. En consecuencia, con el rendimiento que tiene el acuífero este requerimiento puede ser satisfecho en alrededor de 6 horas diarias de bombeo. Se puede emplear para el bombeo de agua para la hacienda bombas entre 5 HP a 10 HP..

- Al realizar el ensayo de bombeo se determinó que la calidad de las aguas del pozo era, según Riverside, de C3S1, perteneciendo al grupo de las aguas utilizables para riego, pero tomando las debidas precauciones, debido a su alta salinidad, con un bajo contenido de sodio.
- El agua 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. A lo largo del tiempo de bombeo, no se detectó cambio brusco de los porcentajes de elementos analizados a profundidad.

MUSEO REAL ALTO.

- En el museo Real Alto se encuentra la capa permeable que puede captar agua a más de 20 m de profundidad, sin embargo superiormente también tiene otra capa permeable la que transporta el agua de infiltración a cotas más bajas. Por este motivo, el agua subterránea es llevada hacia el río y no llega en proporciones adecuadas a la capa de coquina, esto ocurre principalmente en época de estiaje. En consecuencia, a pesar de su terreno tener una gran resistividad esta es en su gran mayoría agua retenida por fuerzas capilares y atracción molecular que muy difícilmente son captadas por el pozo. Además se tiene la capa de la Formación Tablazo que puede captar dicha agua pero se encuentra mas profunda.

Mapa 19. Mapa resultado de los estudios.



7.2. RECOMENDACIONES.

La finalización de una investigación significa haber llegado a unos límites inicialmente establecidos y/o el cumplimiento de un tiempo de trabajo, con unos resultados que abren nuevas fronteras e implicaciones acerca del tema. Por ello, este apartado comenta brevemente las cuestiones que ayudarían al mejor estudio y análisis del tema basándose en lo que aquí se ha aportado, y a las posibles relaciones con otros apartados del saber.

- Realizar el balance hidrológico del sector objeto de estudio, a fin de determinar la capacidad de recarga de los acuíferos y establecer una gestión óptima del recurso agua.
- Control de la variación del nivel piezométrico por lo menos en un año, para definir las condiciones óptimas de explotación de acuerdo a su variabilidad en diferentes épocas del año.
- Realización de pruebas de bombeo en toda el área estudio para definir ya de manera puntual en los tres acuíferos su comportamiento, mediante el análisis de parámetros como: coeficiente de almacenamiento, transmisividad y permeabilidad lo cual nos ayudara a definir el caudal recomendado de explotación para cada sistema acuífero.
- Recolección y análisis de muestras en toda el área de estudio, pero con una red de muestreo, con distancias más cortas entre muestra y muestra, para el control de la intrusión marina en los sectores más cercanos a la costa.

- Establecer un programa de control ambiental con el fin de evitar la degradación derivada del uso doméstico y agrícola.
- Sellar todos los pozos abandonados para que no se conviertan en una fuente de contaminación directa del agua subterránea, ya que se puede observar que muchas personas botan basura dentro de estos pozos que ya no están en uso, lo cual hace que los acuíferos someros se contaminen debido a que estos son más susceptibles.
- Mejoramiento de los pozos someros también llamados norias, existentes hasta hacerlas sanitarias, lo cual incluye limpieza y profundización de la noria. El revestimiento que debe tener hasta una profundidad de 3m y la colocación de cubiertas de hormigón para evitar la contaminación del agua del pozo.
- En cuanto a las Juntas de Agua potable se debe tener primero bien definidos el número de usuarios a los cuales pueden abastecer, ya que actualmente están existiendo problemas de abastecimiento en la Junta Administradora de Agua Potable 9 de Octubre debido a que esta tiene una cobertura de 5 barrios en Pechiche y además en el Real, lo cual ha excedido el número de usuarios que ellos planificaron.
- Estudiar las posibilidades de aplicación de filtros u otros con zeolitas naturales para mejorar la calidad de agua para consumo humano, o procesos agrícolas bien definidos.

CAPÍTULO VIII.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFÍA.

1. MIJAILOV L., Hidrogeología, Editorial Mir Moscú.
2. COLECCIÓN TECNOLOGÍA DEL AGUA, Aguas subterráneas.- Instrumentación, medida y toma de muestras, 1988.
3. BENITEZ ALBERTO, Captación de aguas subterráneas.- Nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales (2da. edición), DOSSAT, S.A.
4. MUÑOZ A., GUILLÉN M.A., Consideraciones acerca de la protección catódica de pozos de captación de aguas (ABSTRACT), Muñoz A., Guillen M.A.
5. BLANCO TORRENS ROBERTO, Laboreo de excavaciones subterráneas, Editorial Pueblo y Educación.
6. COMUNIDAD DE MADRID, Las aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid, Comunidad de Madrid.
7. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Conceptos básicos de microbiología de las Aguas Subterráneas, I.T.G.E., 1998.
8. OLMO ALARCÓN M., LÓPEZ GETA J.A., Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología, I.T.G.E., 2000.
9. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Mapa de contenido en nitrato de las aguas subterráneas en España, escala 1:1.500.000, I.T.G.E., 1998.

10. BALLESTER RODRÍGUEZ A., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ J.A., LÓPEZ GETA J.A. Medida y evaluación de las extracciones de Agua Subterránea, I.T.G.E, 1999.
11. FERNÁNDEZ RUBIO R., FERNÁNDEZ SÁNCHEZ J.A., LÓPEZ CAMACHO B., LÓPEZ GETA J.A., Jornadas técnicas sobre Aguas Subterráneas y abastecimiento urbano, I.T.G.E, 1997.
12. NADAL REIMAT EUGENIO, LACASA MARQUINA MÓNICA, Introducción al análisis de la planificación hidrológica, segunda edición revisada y actualizada, Centro de Publicaciones- Secretaría General Técnica- Ministerio de Medio Ambiente, 1997.
13. FERNÁNDEZ RUBIO RAFAEL, FERNÁNDEZ LORCA SERGIO, ESTEBAN ARLEGUI JORGE, Abandono de Minas.- Impacto Hidrogeológico, Instituto Geológico y Minero de España (E.T.S.I.M.)- Ministerio de Industria y Energía- Ministerio de Educación y Ciencia (U.P.M.), 1986.
14. INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Actuaciones para la protección de las aguas subterráneas frente a vertidos accidentales de sustancias contaminadas, Instituto Geominero de España, 1989.
15. INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Actualidad de las Técnicas Geofísicas aplicadas en Hidrogeología, M. Olmo Alarcón, J.A. López, 2000.
16. CURSO INTER. DE HIDROL. SUBTERRANEA, Aguas Subterráneas (instrumentación medida y toma de muestras), 1998.

17. INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Guía Para La Evaluación de Extracciones De Aguas Subterráneas Mediante Contadores Eléctricos Rendimientos De Coste Del Agua, Instituto Geominero de España.
18. GARIBOGLIO MIGUEL A., SMITH STUART A., Corrosión e incrustación microbiológica en sistemas de captación y conducción de agua.- Aspectos teóricos y aplicados.- Serie investigaciones aplicadas, Colección Hidrogeología Subterránea, Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1993.
19. LÓPEZ BENITO ALFREDO, Estadística Aplicada a la Hidrogeología, López Benito Alfredo, 1992.
20. LÓPEZ BENITO ALFREDO, Hidrogeología de Superficie. Área IV, Vicens Hualde José Miguel, 1992.
21. INSTITUTO GEOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, La Evaluación de la Recarga a Los Acuíferos en la Planificación Hidrogeológica, ITGE, 1997.
22. INSTITUTO GEOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Las Aguas Subterráneas y los Plaguicidas, ITGE, 1992.
23. II MASTER EN TECNOLOGÍA HIDROGEOLÓGICA, Métodos de Captación de Aguas Subterráneas. Área VII (1er. tomo), 1992.
24. II MASTER EN TECNOLOGÍA HIDROGEOLÓGICA, Métodos de Captación de Aguas Subterráneas. Área VII (2do. tomo), 1992.

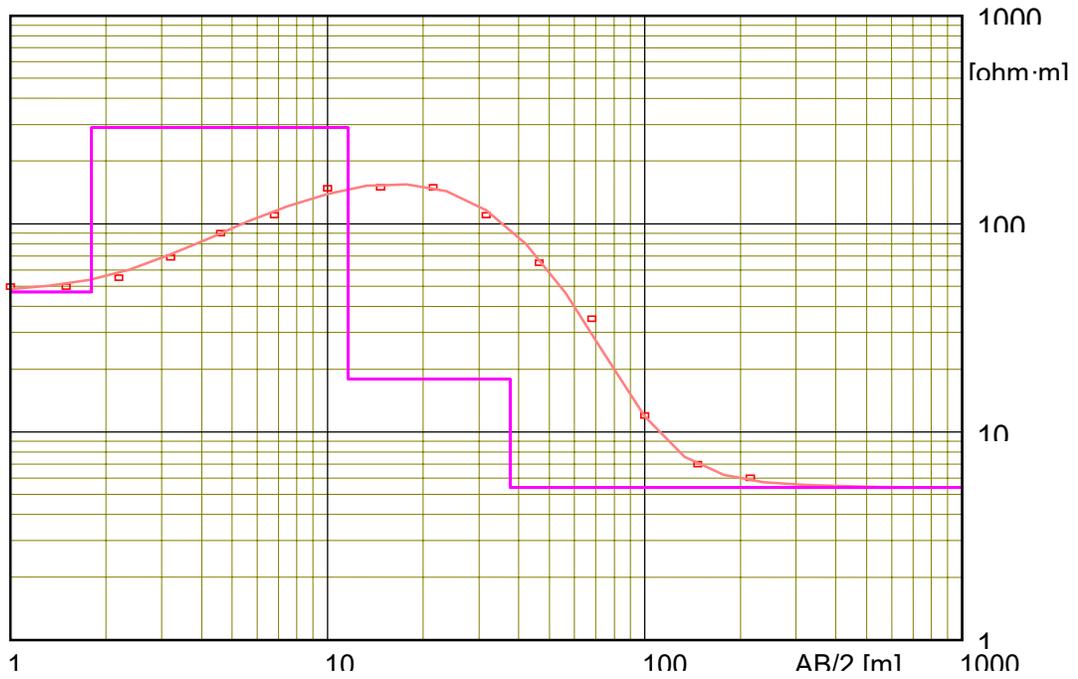
25. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Recursos hidrogeológicos y recursos hidráulicos no convencionales, Secretaria General Técnica, 1994.
26. EWEIS B. JUANA, ERGAS SARINA J., CHANG DANIEL P. Y. , SCHOROEDER EDWARD D., Principios de Biorrecuperación (Tratamiento para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas), García Brage Antonio, 2000.
27. FERNANDEZ RUBIO RAFAEL, FERNANDEZ LORCA SERGIO, ESTEBAN ARLEGUI JORGE, Abandono de Minas Impacto Hidrológico, Universidad Politécnica de Madrid, 1986.
28. FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA, Vocabulario de hidrogeología subterránea (1era. Edición), 1996.
29. SHESTAKOV V.M., Hidrogeología subterránea, Vneshtorgizdat (Moscú), 1983.
30. BLANCO TORRENS ROBERTO, Influencia De Los Trabajos Subterráneos Sobre El Terreno Y Construcción De Superficies, Editorial Felix Varela, La Habana, 1995.
31. ITGE- M. OLMO ALARCÓN/ J.A. LÓPEZ GETA, Actualidad De Las Técnicas Geofísicas Aplicadas En Hidrogeología, ITGE- M. Olmo Alarcón/ J.A. López Geta, 2000.

CAPÍTULO IX.

ANEXOS.

9.1. Columnas geoelectricas en Sta. Elena, Ancón y Atahualpa.

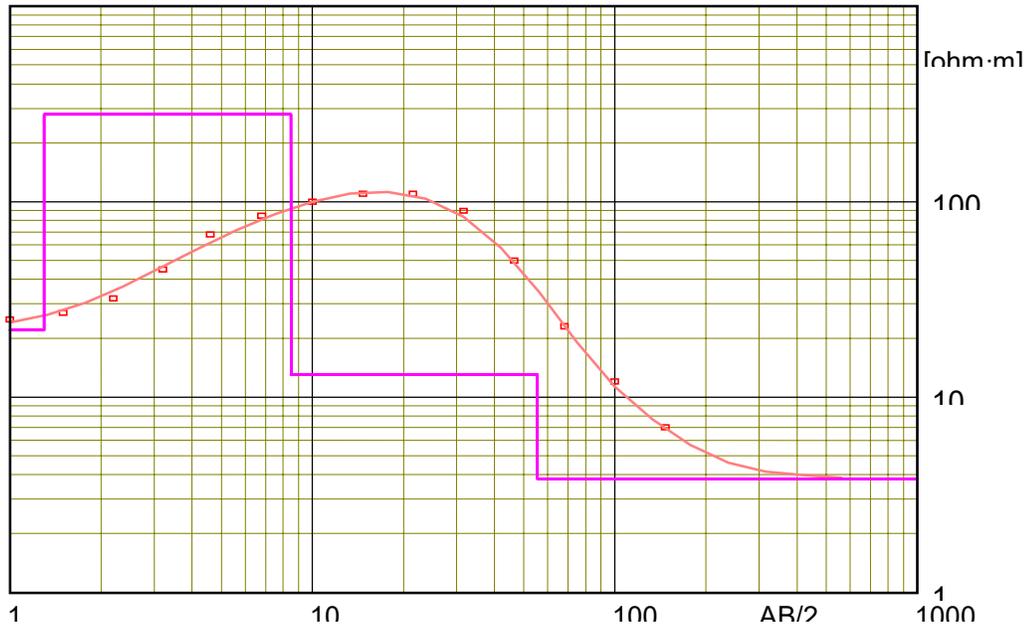
Interpretación del Sondeo Eléctrico Schlumberger - A1



Columna Geoeléctrica del Sondeo A1

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERÍSTICA
1.8	1.8	47	Suelo arenoso con materia orgánica, con grado de porosidad de 20% con permeabilidad buena
12	9.8	290	Capa de coquina (caliza orgánica de la Formación Tablazo) con agua dulce intersticial. La capa almacén del acuífero está conformada principalmente por esta clase de roca.
38	26	18	Conformado por arenisca alternado con coquina. Esta capa prácticamente está conformando el piso del acuífero
	5.4	5.4	Areniscas con alternancias de conglomerado

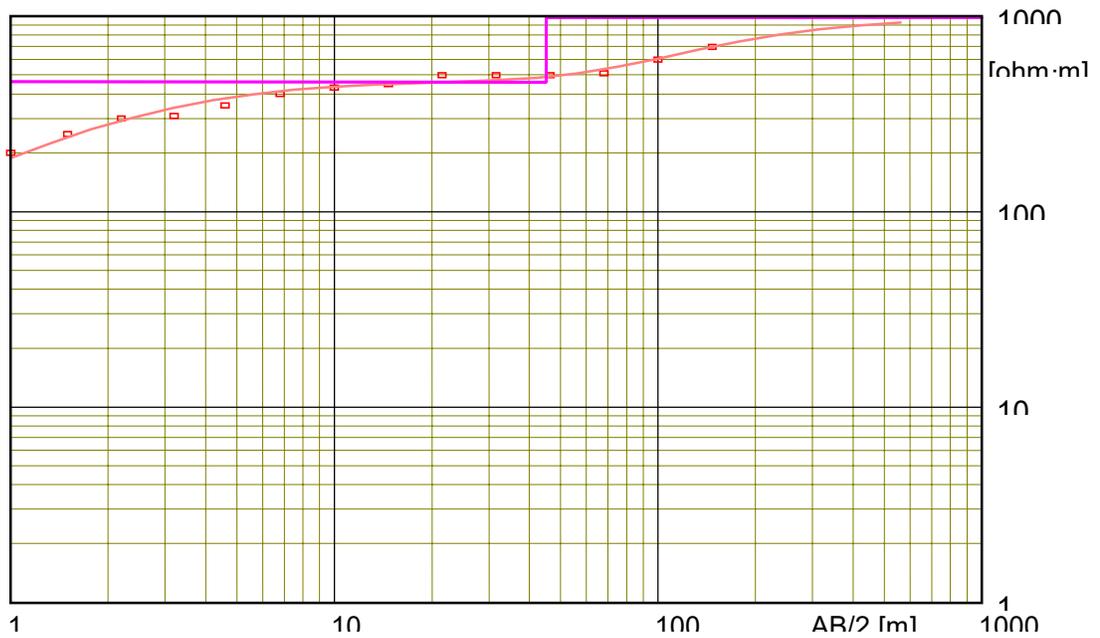
Interpretación del Sondeo Eléctrico Schlumberger - A2.



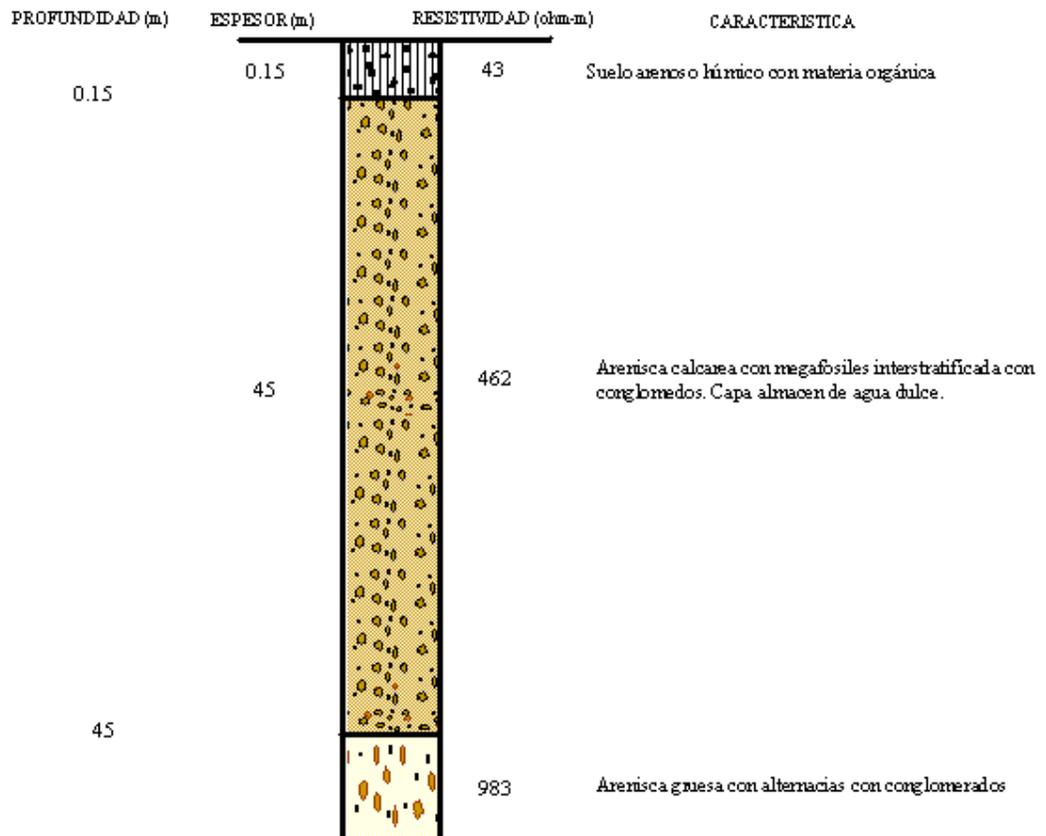
Columna Geoeléctrica del Sondeo A1

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERÍSTICA
1.3	1.3	22	Suelo arenoso con materia orgánica
8.5	7.2	281	Capa de arenisca calcarea con megafosiles (coquina). Esta la capa almacén del acuífero
56	47	13	Arenisca fina con alternancias de conglomerados y areniscas gruesas
	3.8	3.8	Arenisca arcillosa interstratificado con conglomerados

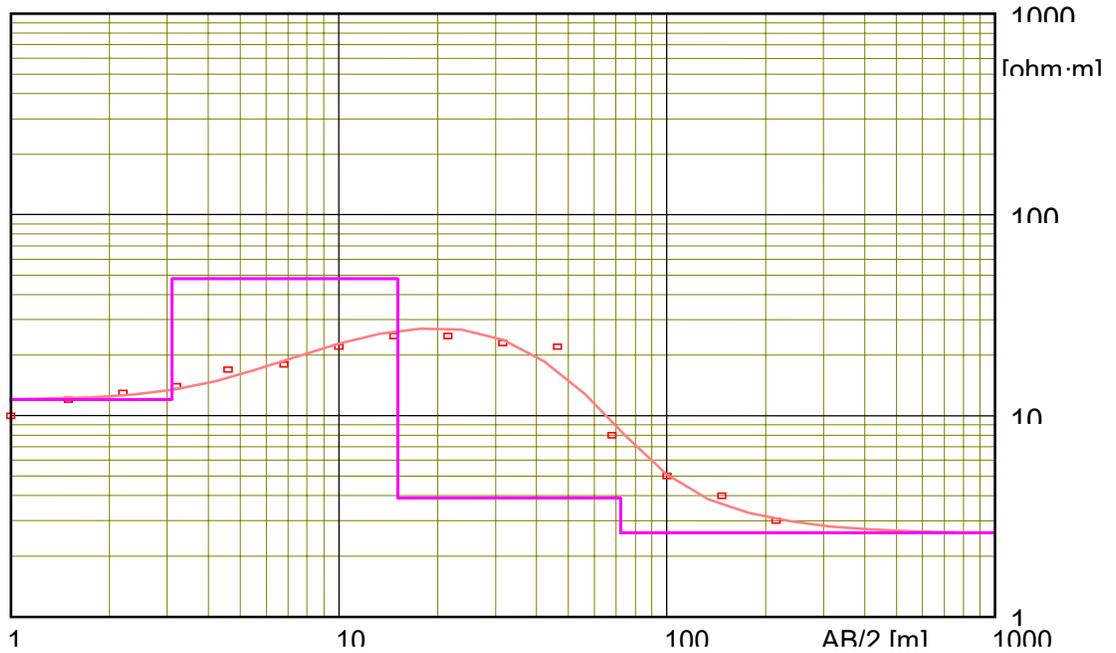
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger – A3



Columna Geoeléctrica del Sondeo A3



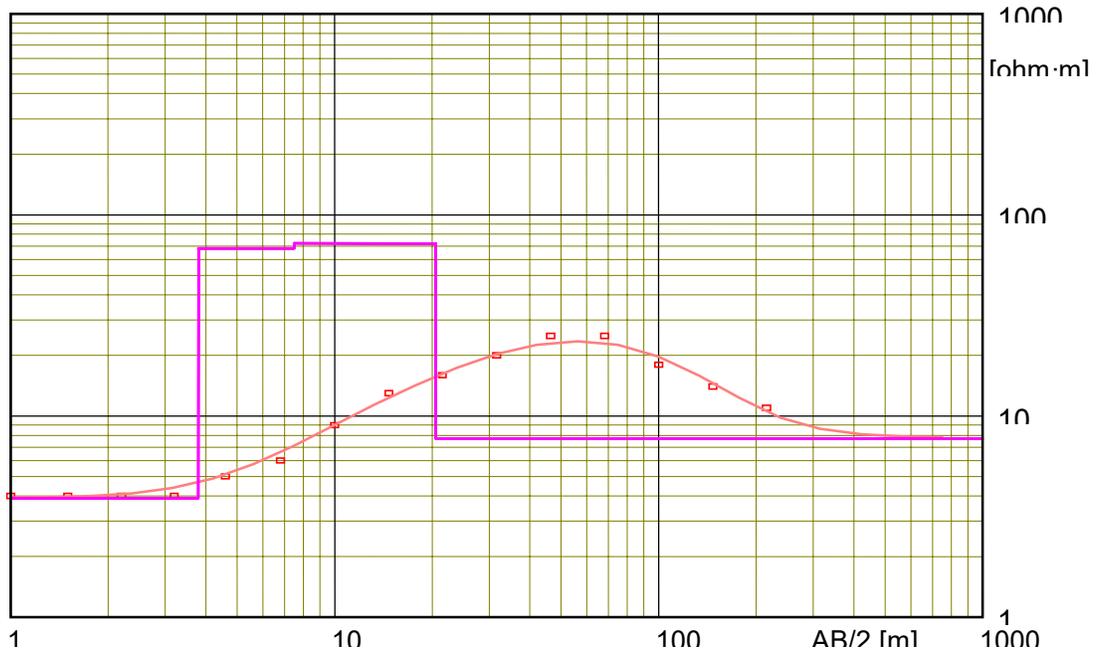
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A4



Columna Geoelectrica del Sondeo A4

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD ($\text{ohm}\cdot\text{m}$)	CARACTERISTICA
3.1	3.1	12	Suelo arenoso con materia orgánica
15	12	48	Capa con arenisca calcarea con megafósiles Es la capa almacen del acuífero
72	57	3.9	Arenisca finas con intercalaciones de conglomerados
		2.6	Arenisca finas con conglomerados alternados con arcillitas

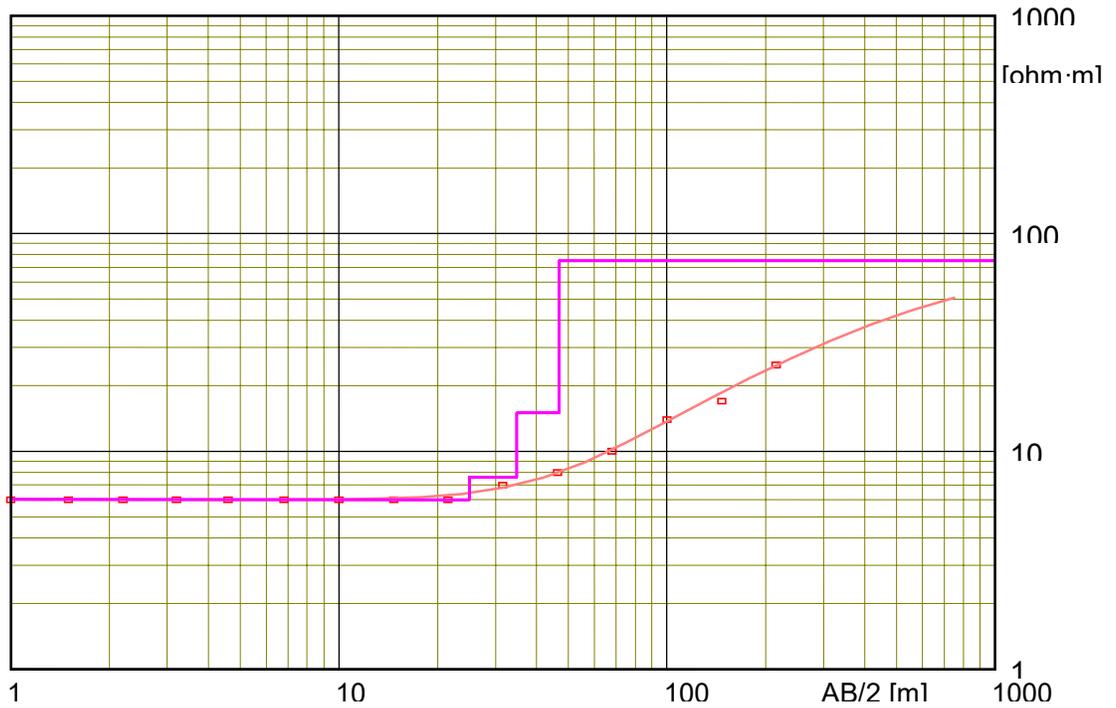
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A5.



Columna Geoelectrica del Sondeo A5

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
3.8	3.8	3.9	Suelo arenosa con materia orgánica
7.5	3.7	68	Capa de arenisca calcarea con mega fósiles. Esta es la capa almacen del acuífero.
20	13	72	Capa de arenisca finas alternando con conglomerados con agua intersticial
		7.7	Interestratificaciones entre areniscas y conglomerado con agua algo salina.

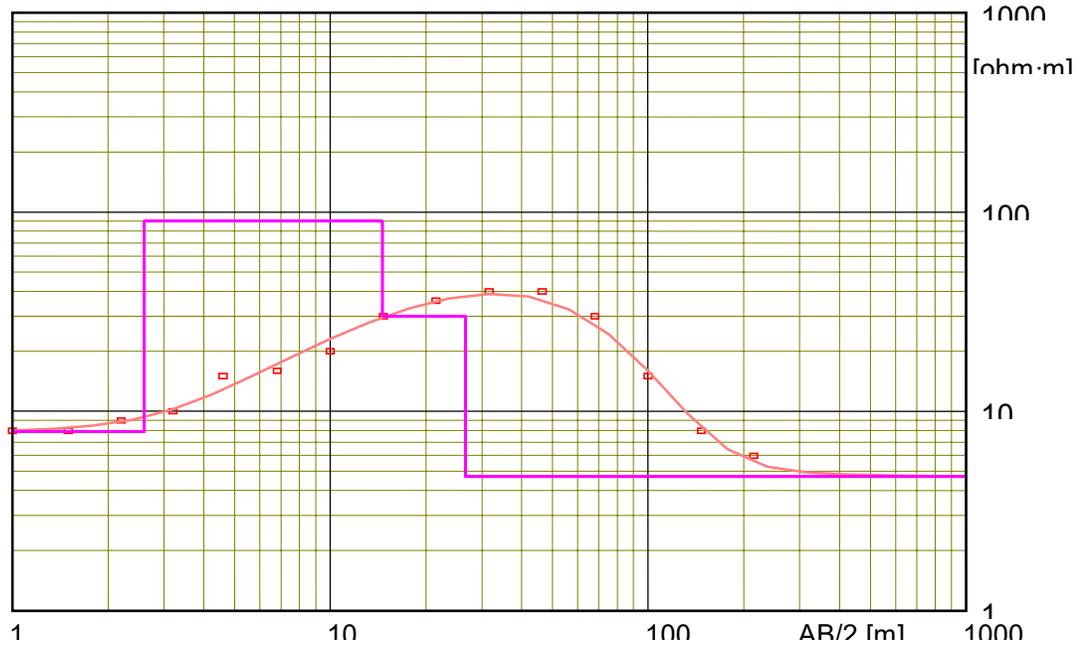
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A6



Columna Geoelectrica del Sondeo A6

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
25	25	6	Alternancias entre areniscas calcareas con conglomerados y materia orgánica
35	9.9	7.6	Alternancias entre areniscas finas con conglomerados con agua algo salina
47	12	15	Arenisca calcareas interstratificado con conglomerados con agua algo salina
		75	Areniscas calcareas gruesas alternando con conglomerados

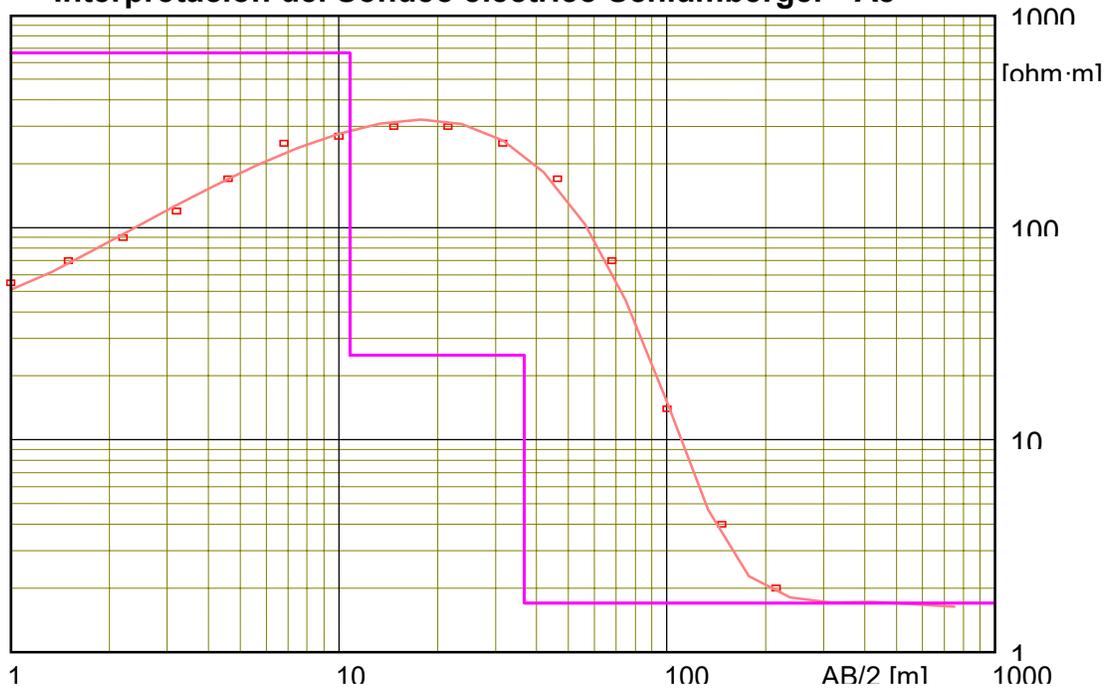
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A7



Columna Geoelectrica del Sondeo A7

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD ($\Omega \cdot m$)	CARACTERISTICA
2.6	2.6	7.9	Suelo arenoso calcareo con materia orgánica
15	12	90	Capa de arenisca calcarea con mega fósiles (Formación Tablazo). Esta es la capa almacén del acuífero.
27	12	30	Alternancias entre areniscas finas y conglomerados con agua algo salina
		4.7	Areniscas finas con arcillolitas

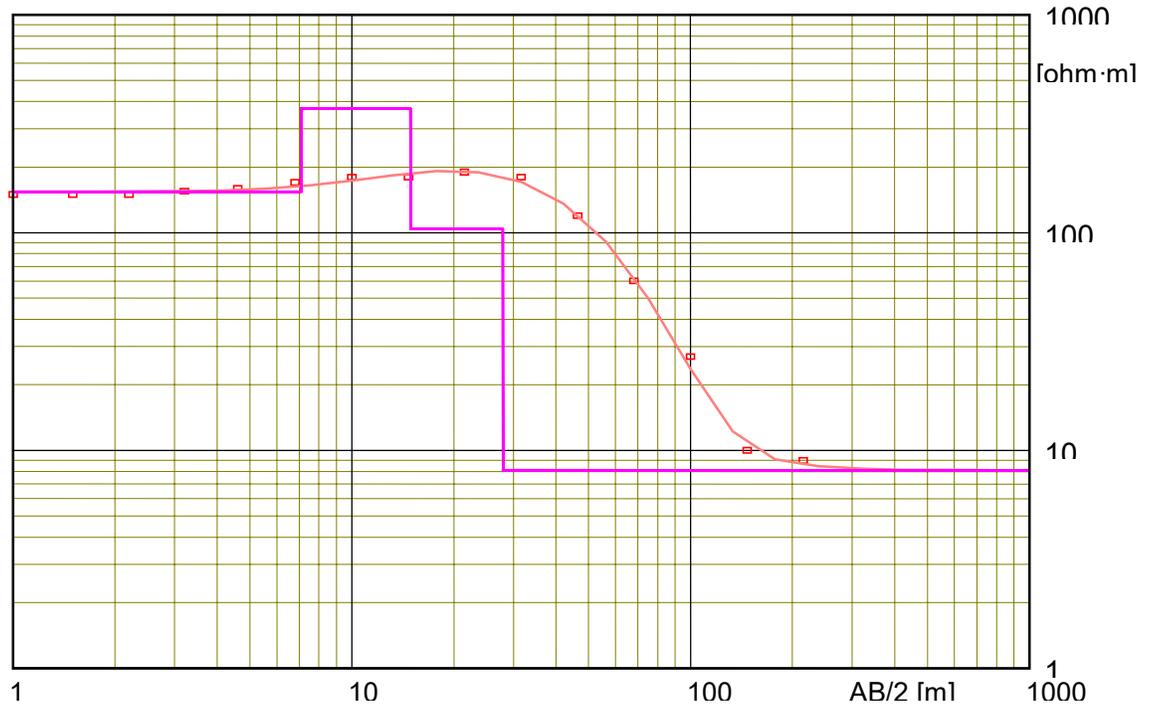
Interpretación del Sondeo electric Schlumberger - A8



Columna Geoeléctrica del Sondeo A8

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERÍSTICA
0.79	0.79	38	Suelo arenoso con materia orgánica
11	10	667	Capa de arenisca calcarea con mega fósiles (Formación Tablazo). Esta es la capa almacen del cauífero
37	26	25	Alternancias entre areniscas finas calcareas con conglomerados
		1.7	Arenisca alternadas con conglomerados con agua algo salina

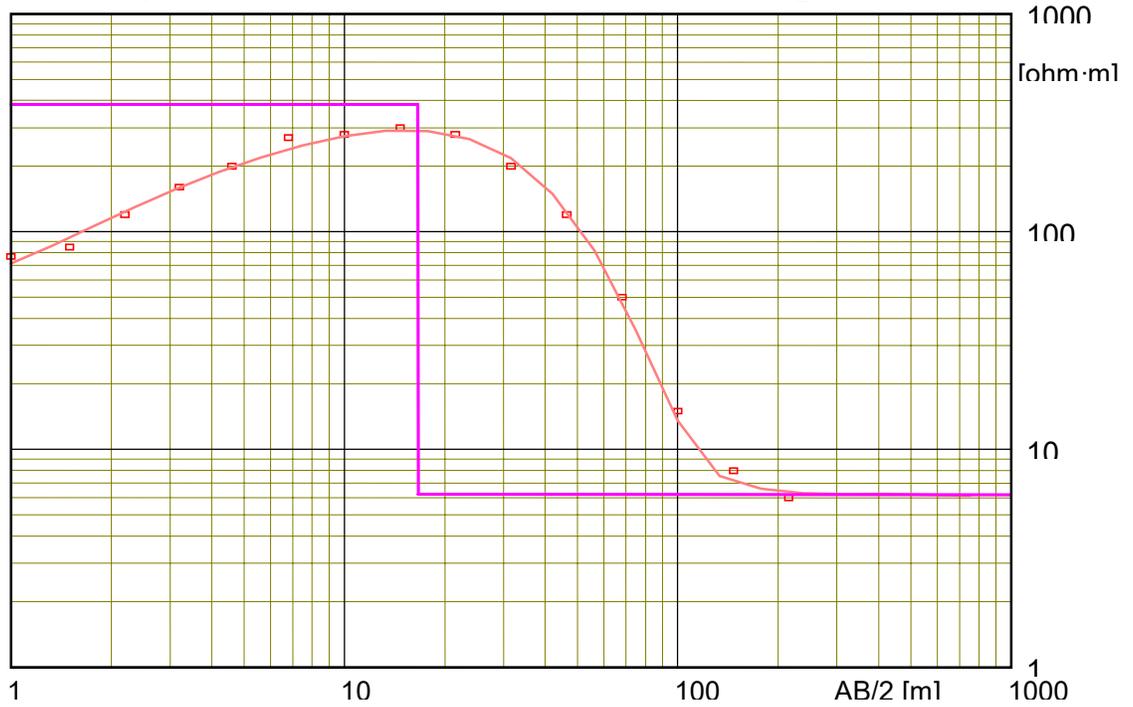
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A9



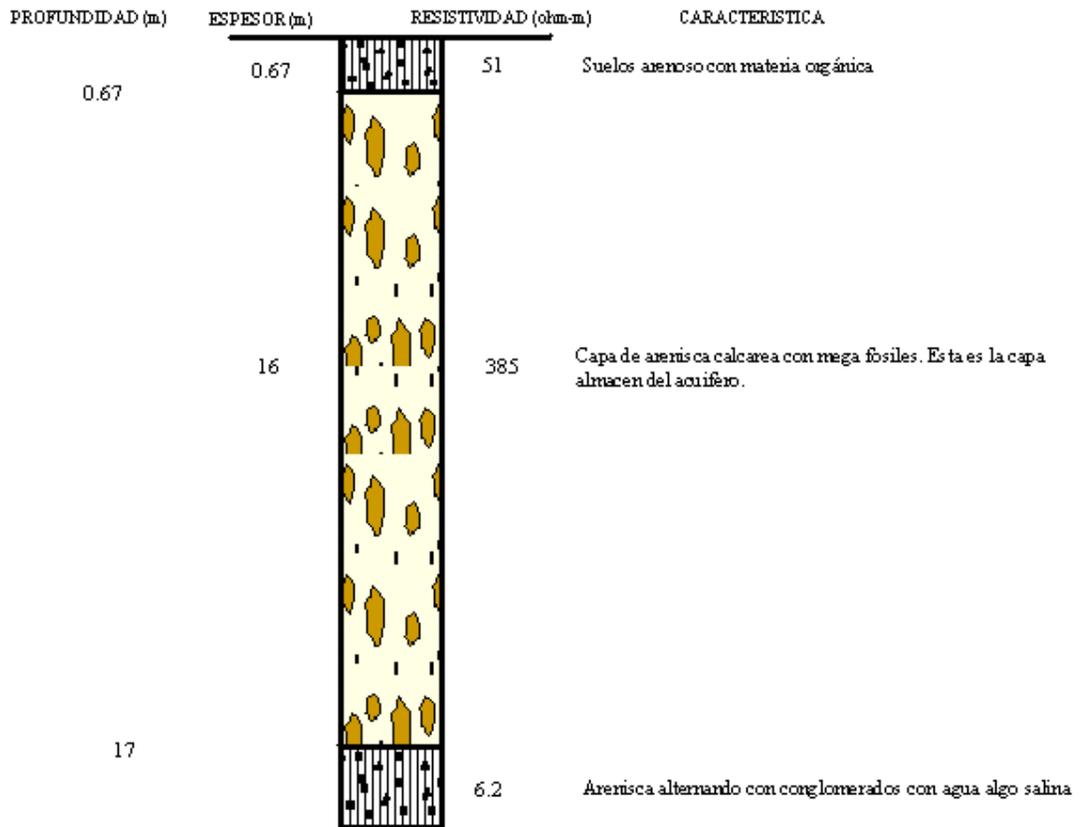
Columna Geoelectrica del Sondeo A9

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
7.1	7.1	154	Suelo arenoso con materia orgánica
15	7.8	372	Arenisca calcarea con mega fósiles. Esta es la capa almacen del acuífero.
28	13	104	Arenisca alternando con conglomerados. Esta es la capa de transición entre el estrato mas dulce con otro mas salino
		8.1	Arenisca alternado con conglomerado con agua intersticial salina

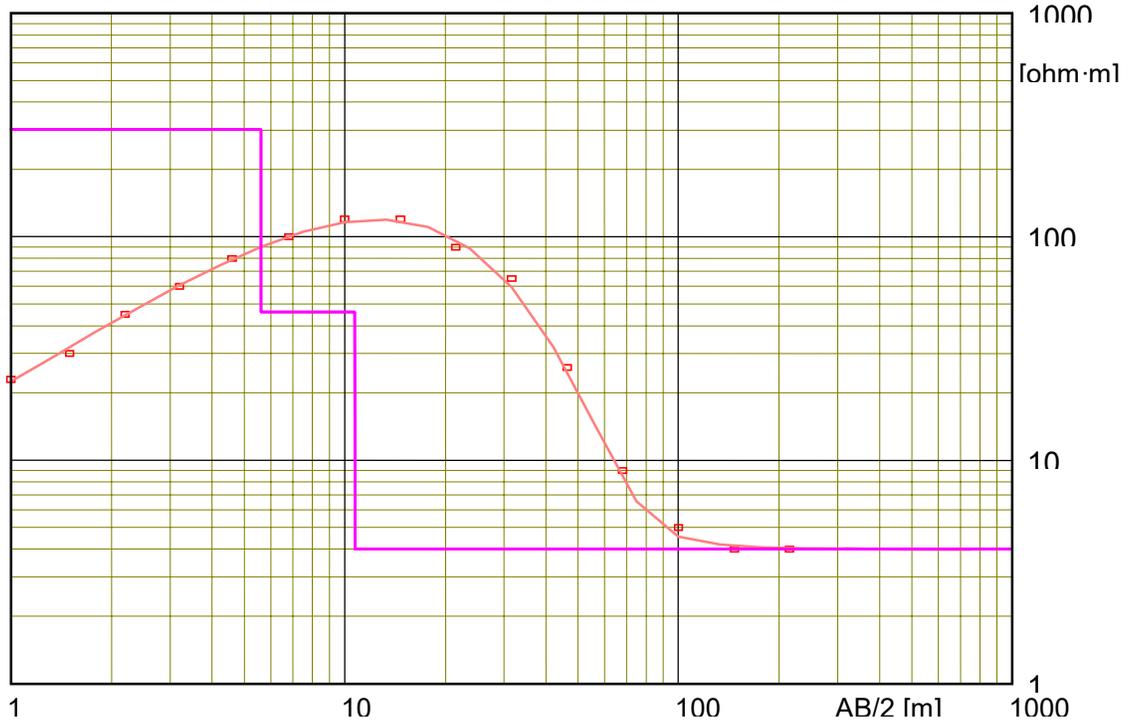
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A10



Columna Geoelectrica del Sondeo A10



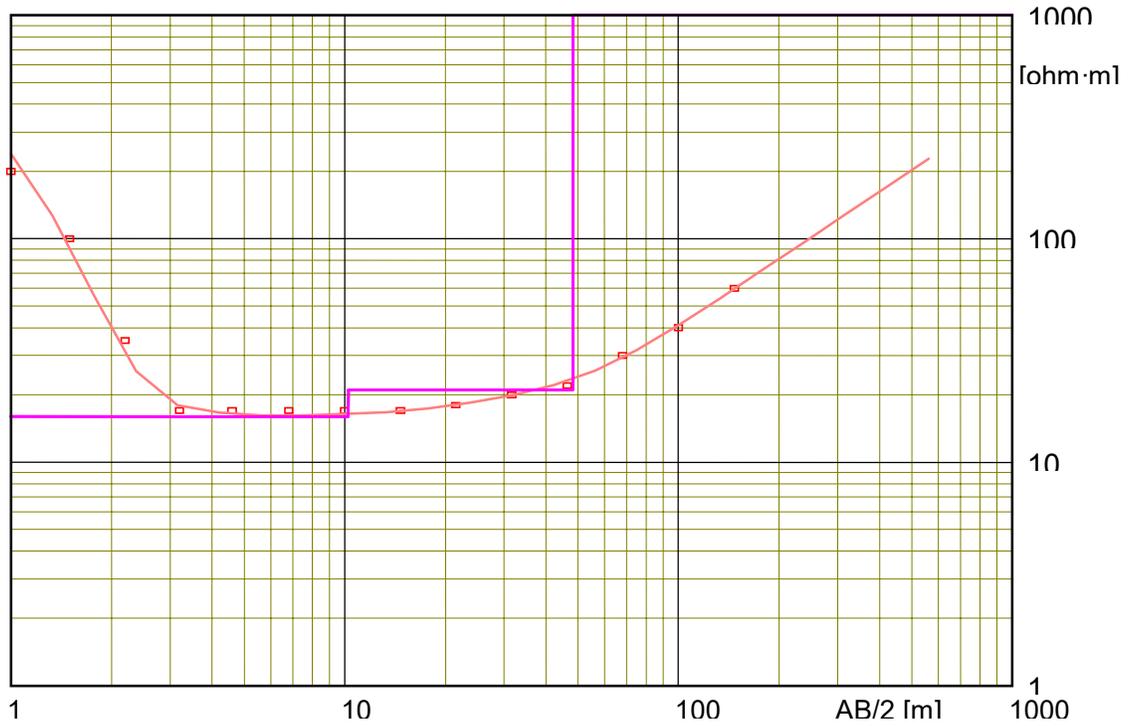
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A11



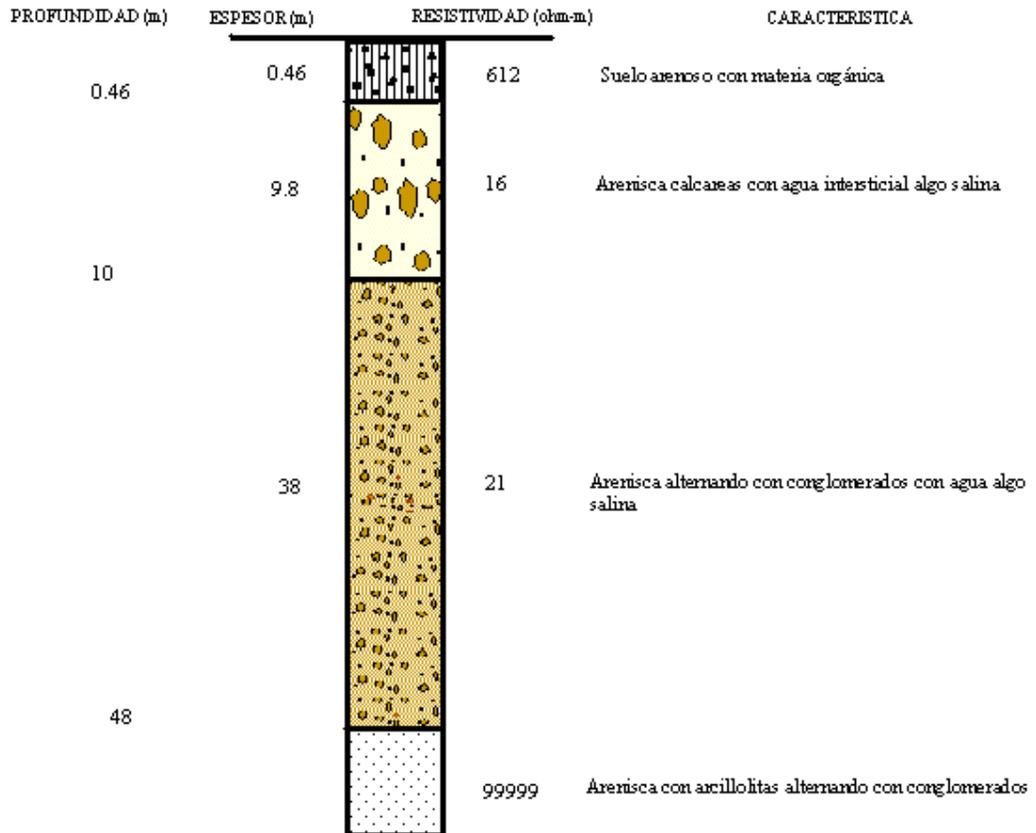
Columna Geoeléctrica del Sondeo A11

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
0.51	0.51	12	Suelo arenoso con amethia orgánica
5.6	5.1	302	Capa de arenisca calcarea con megafosiles. Esta es la capa almacen del acuífero.
11	5.1	46	Arenisca alternando con conglomerados con agua intersticial algo salina
		4	Arenisca calcarea alternando con conglomerados con agua intersticial algo salina

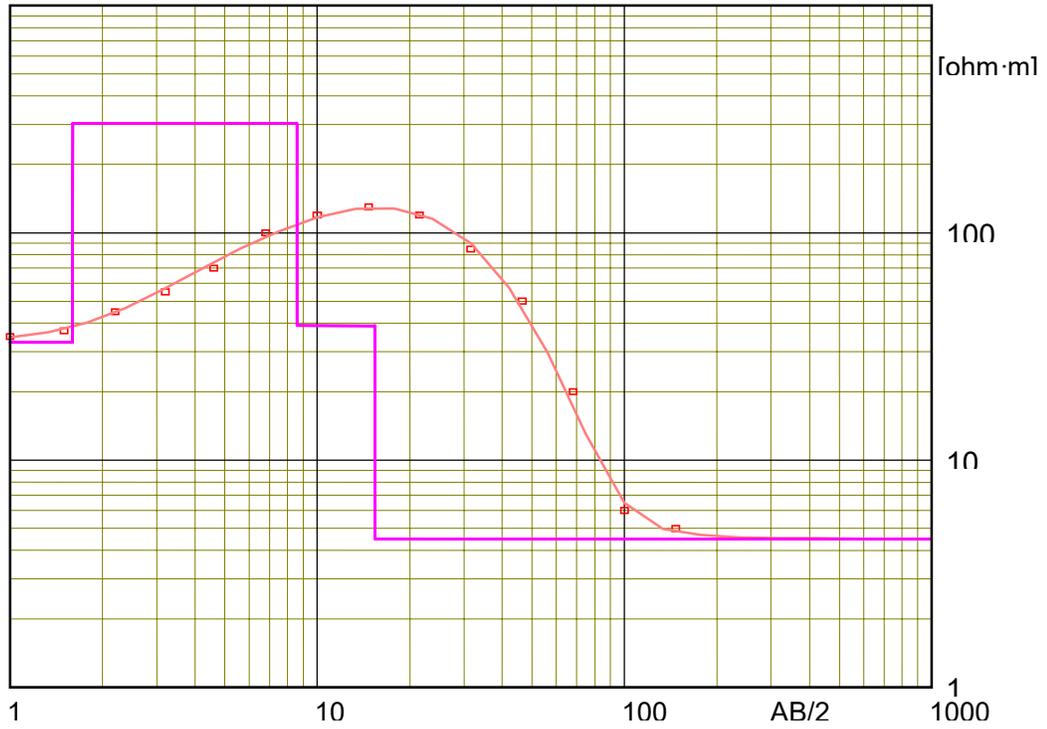
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A12



Columna Geoeléctrica del Sondeo A12



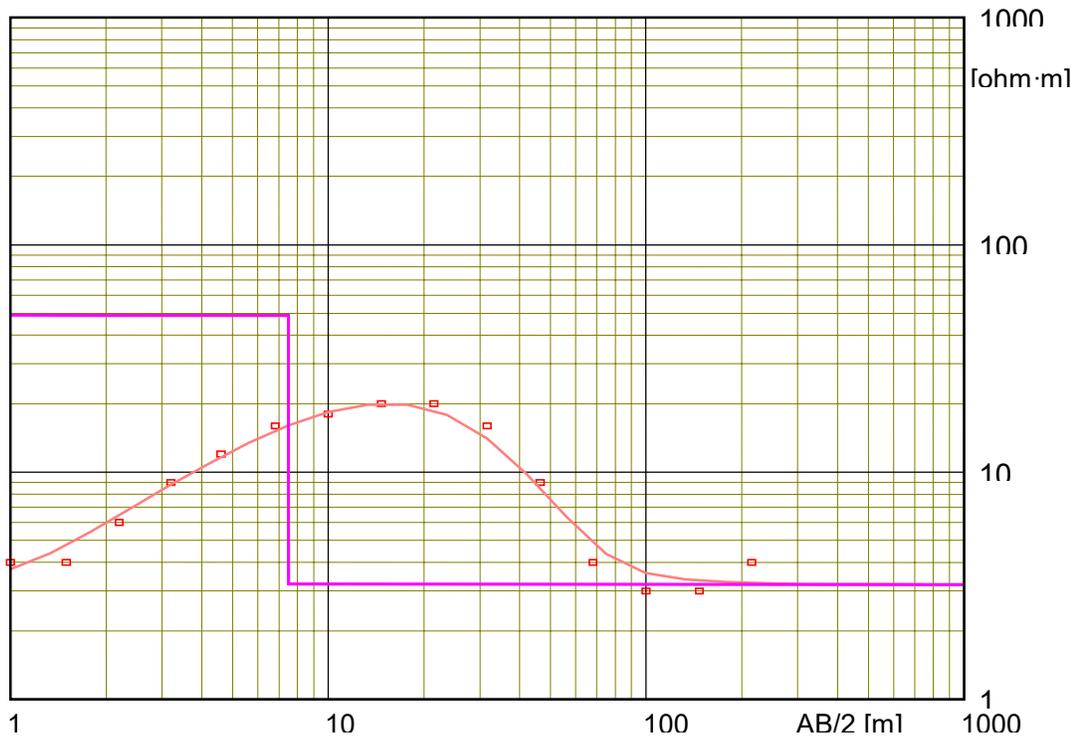
Interpretación del Sondeo electric Schlumberger - A13



Columna Geoeléctrica del Sondeo A13

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
1.6	1.6	33	Suelo arenoso con materia orgánica
8.6	7	302	Arenisca calcarea con megafósiles (Formación Tablazo). Sta es la capa almacen del acuífero.
15	6.8	39	Arenisca alternando con conglomerados con agua intersticial algo salina
		4.5	Arenisca fina alternando con arcillolitas

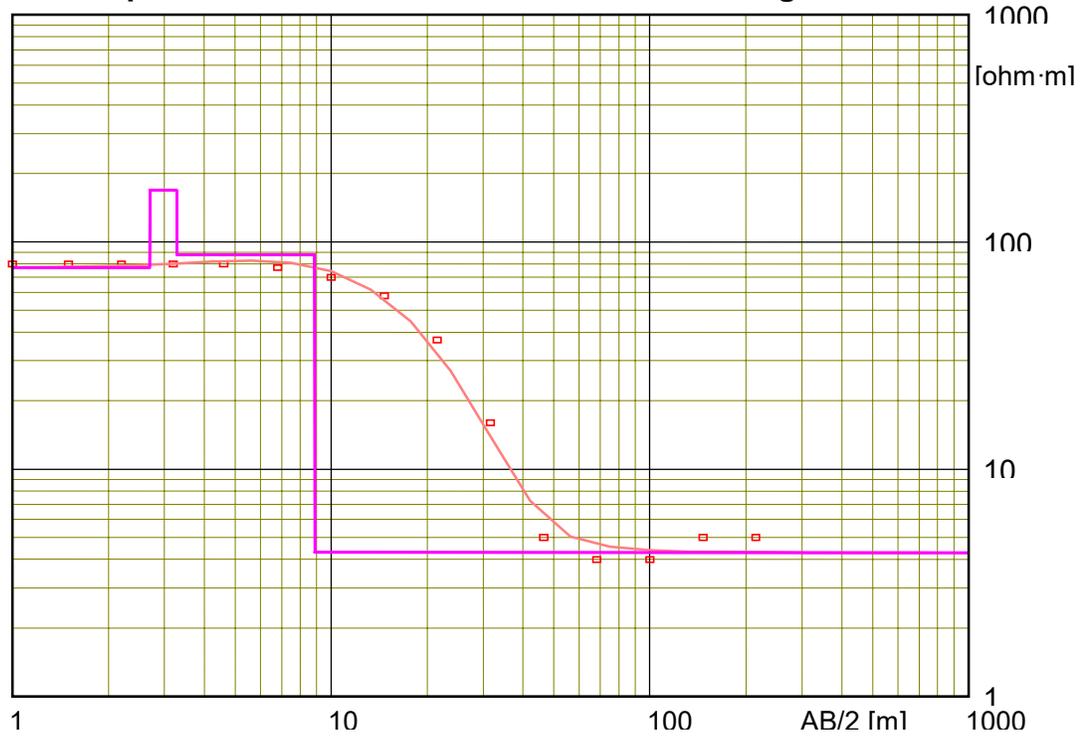
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A14



Columna Geoeléctrica del Sondeo A14

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERÍSTICA
0.59	0.59	1.94	Suelo arenoso con materia orgánica
8.44	7.85	55.34	Arenisca calcárea con megafosiles (Formación Tabalzo) con agua intersticial algo salina
47.78	39.34	1.15	Arenisca fina con interstratificaciones de conglomerados con agua intersticial salina
		7.41	Arenisca fina alternando con arcillolitas

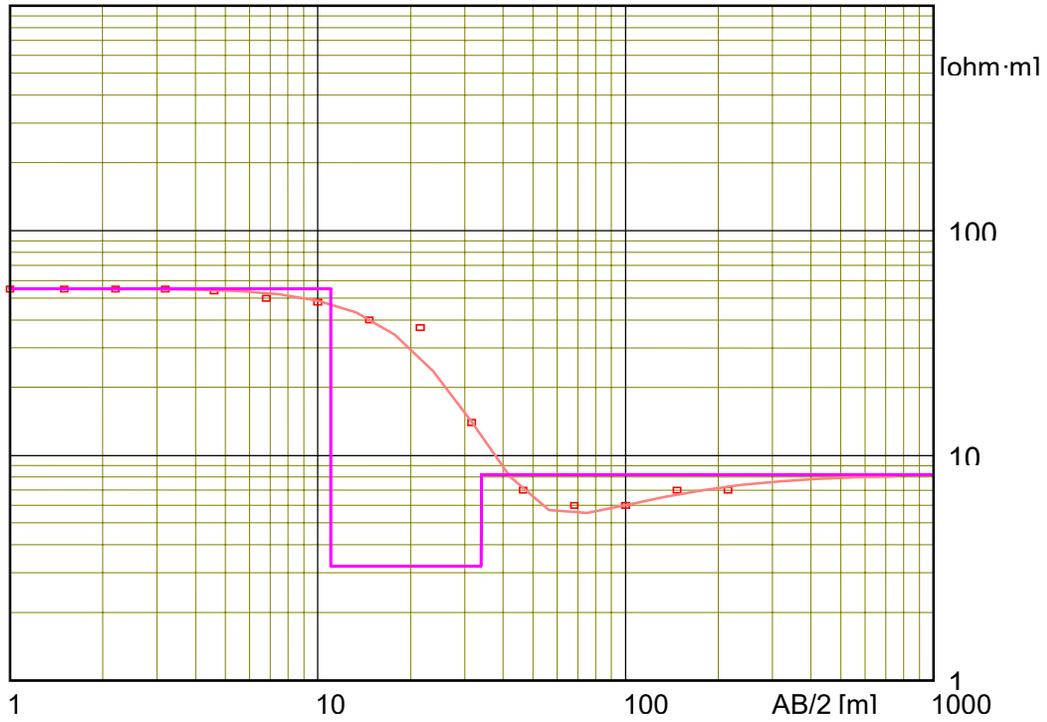
Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A15



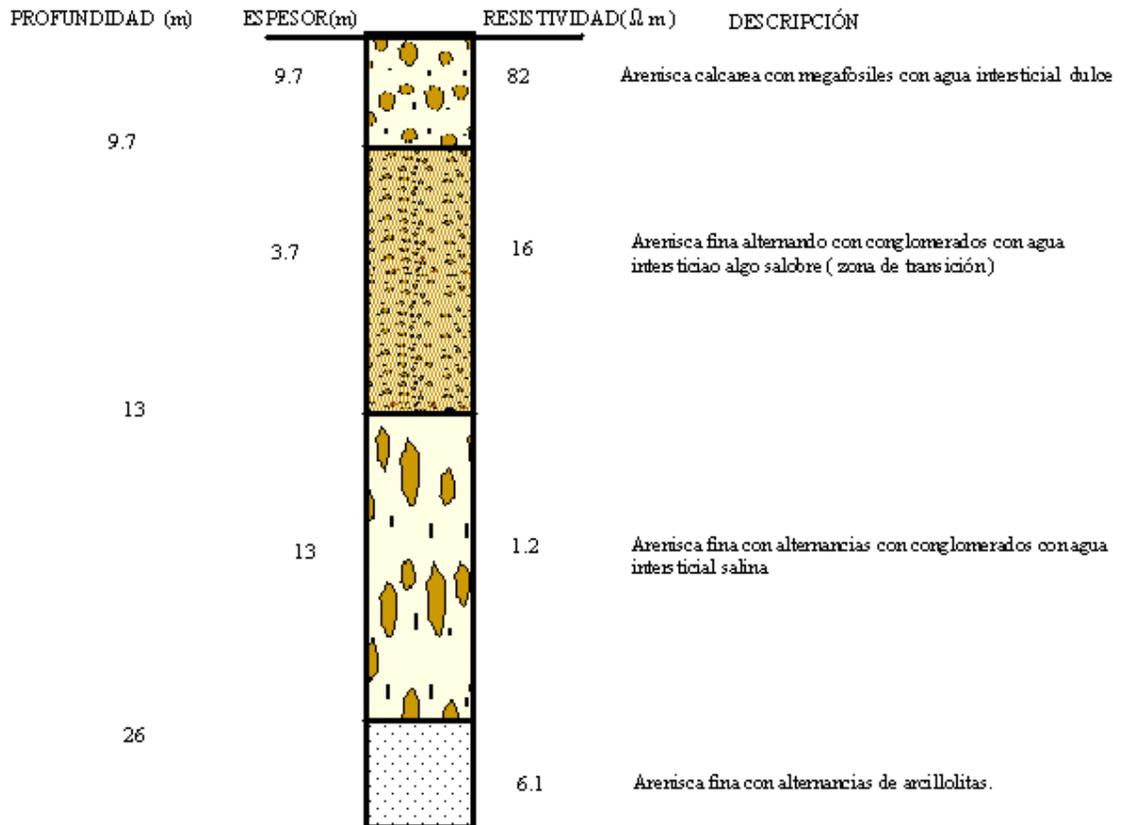
Columna Geoeléctrica del Sondeo A15

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (ohm-m)	CARACTERISTICA
0.59	0.59	1.94	Suelo arenoso con materia orgánica
8.44	7.85	55.34	Arenisca calcarea con megafosiles (Formación Tabalzo) con agua intersticial algo salina
47.78	39.34	1.15	Arenisca fina con interstratificaciones de conglomerados con agua intersticial salina
		7.41	Arenisca fina alternando con arcillolitas

Interpretación del Sondeo electrico Schlumberger - A16

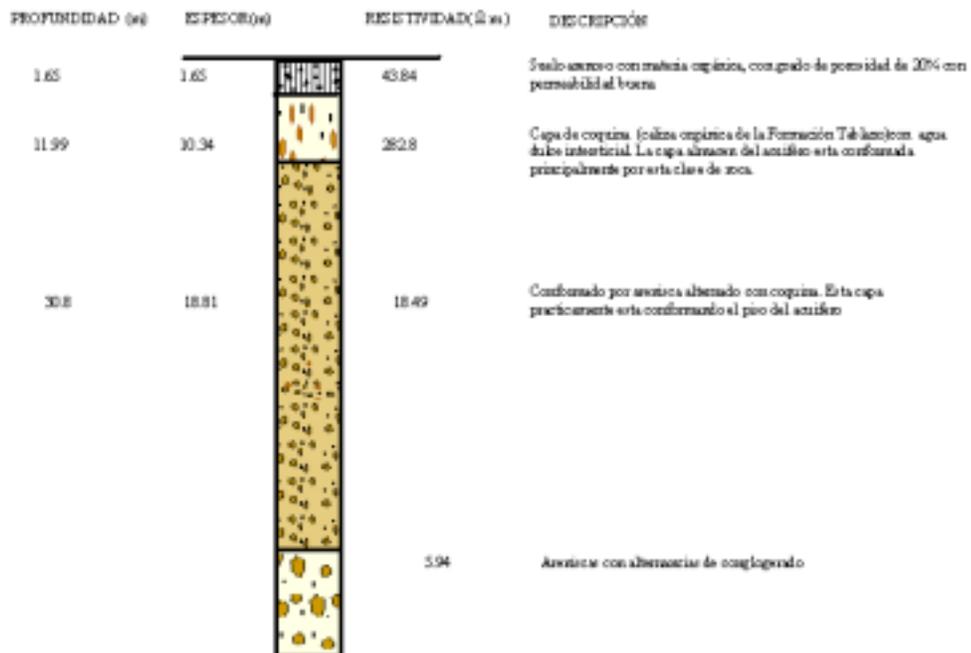
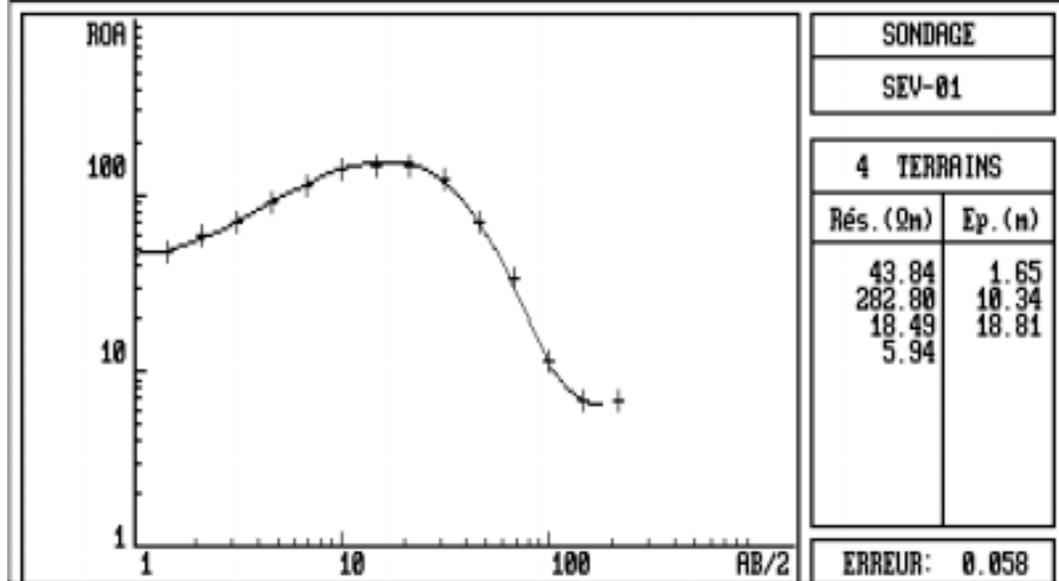


Columna Geoeléctrica del Sondeo A16



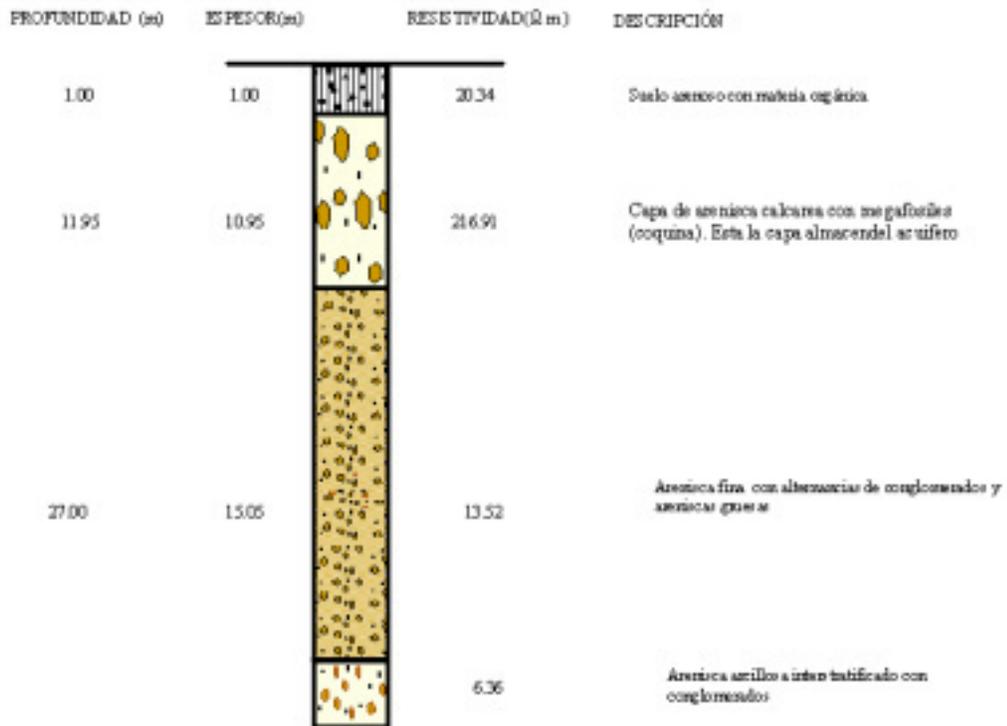
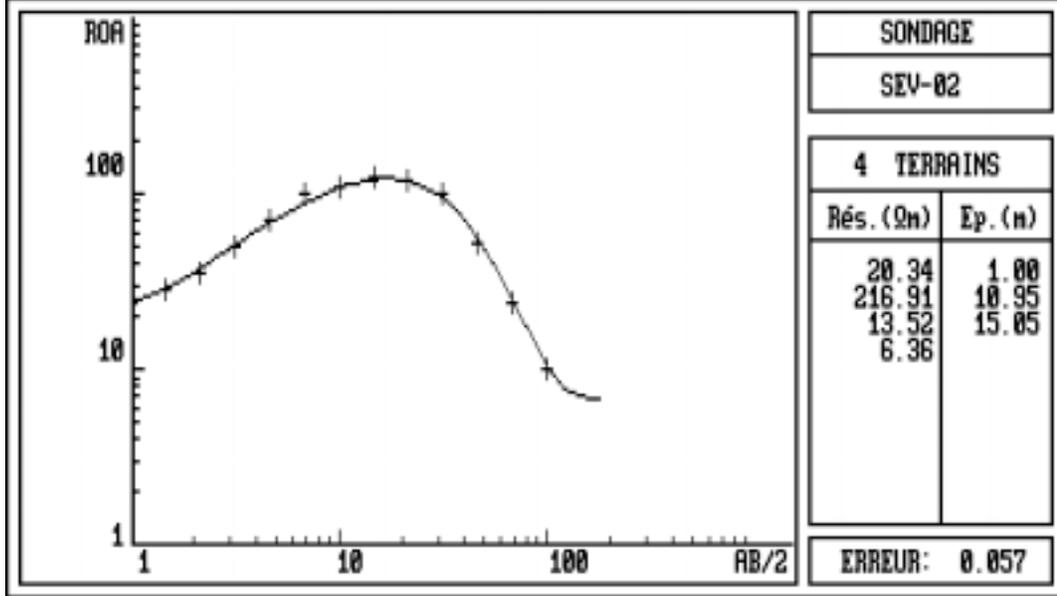
9.2. Interpretación con el programa WINSEV de los sondeos del Proyecto ESPOL- Pechiche.

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



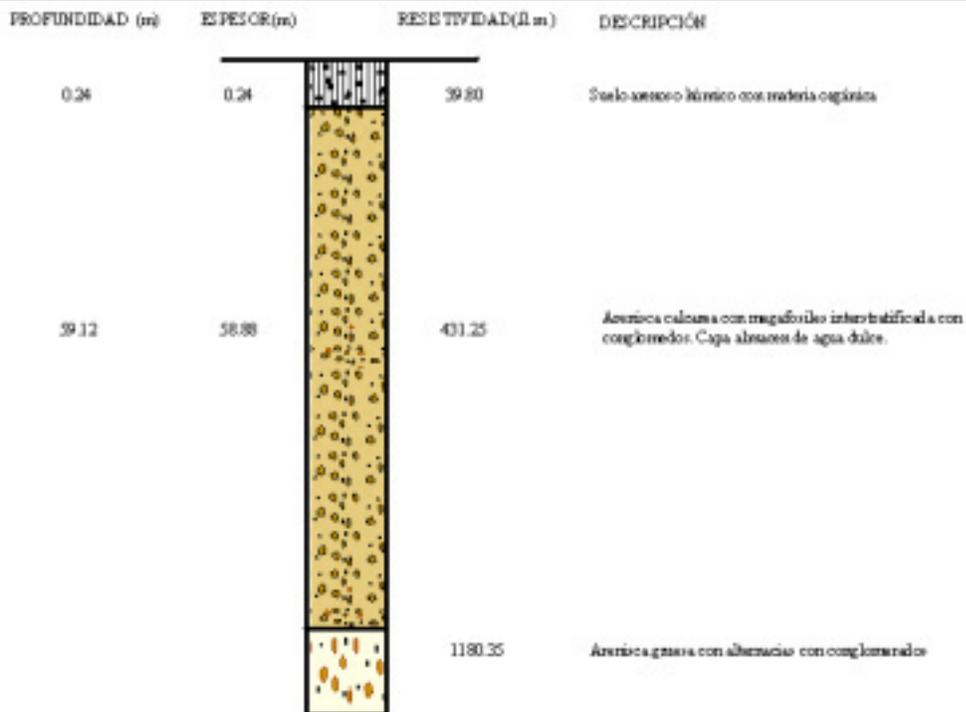
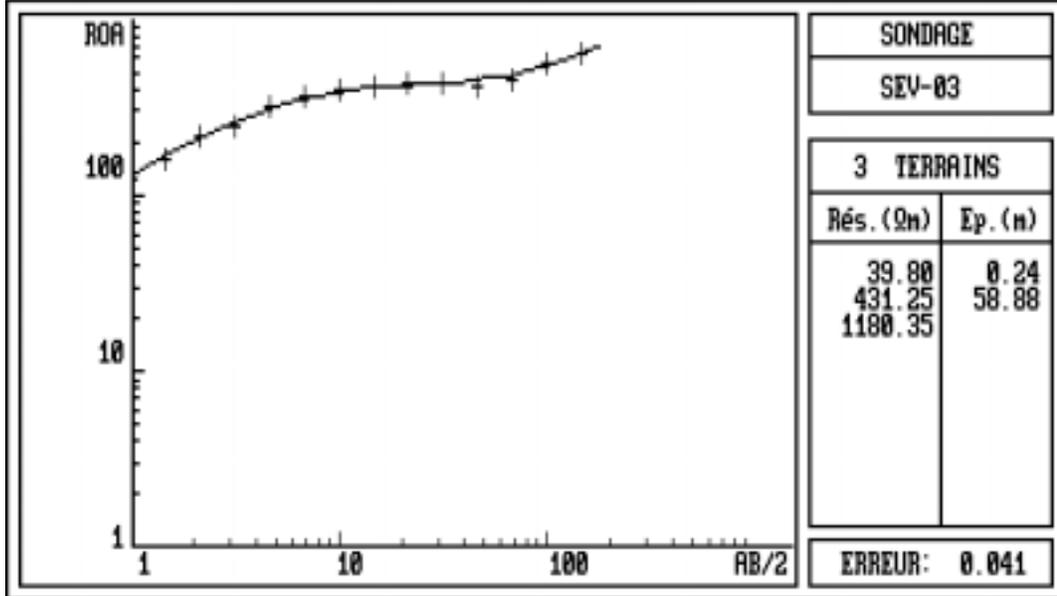
Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-01 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



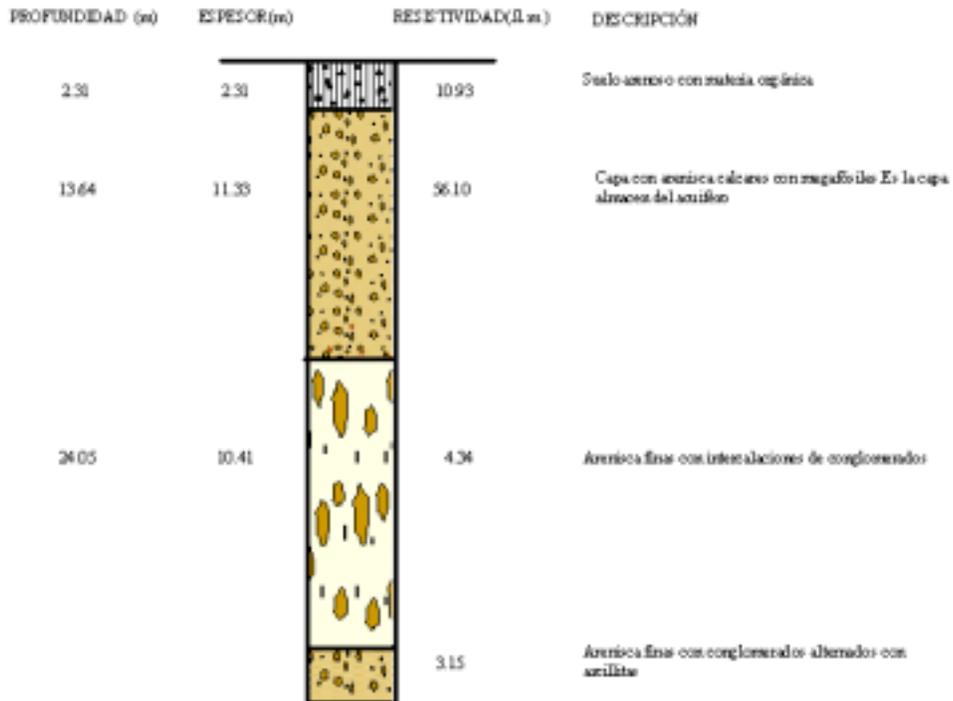
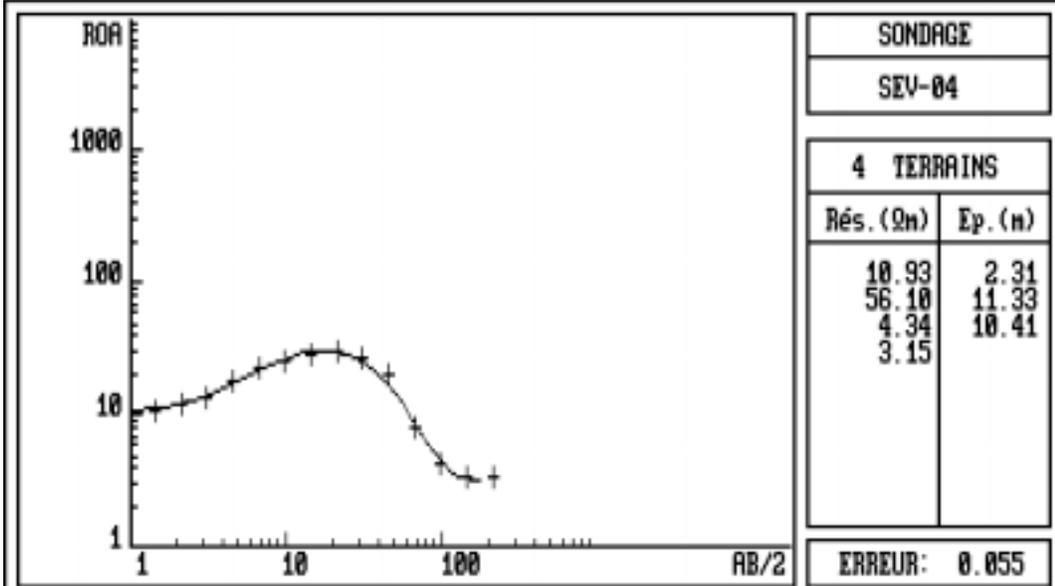
Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-02 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



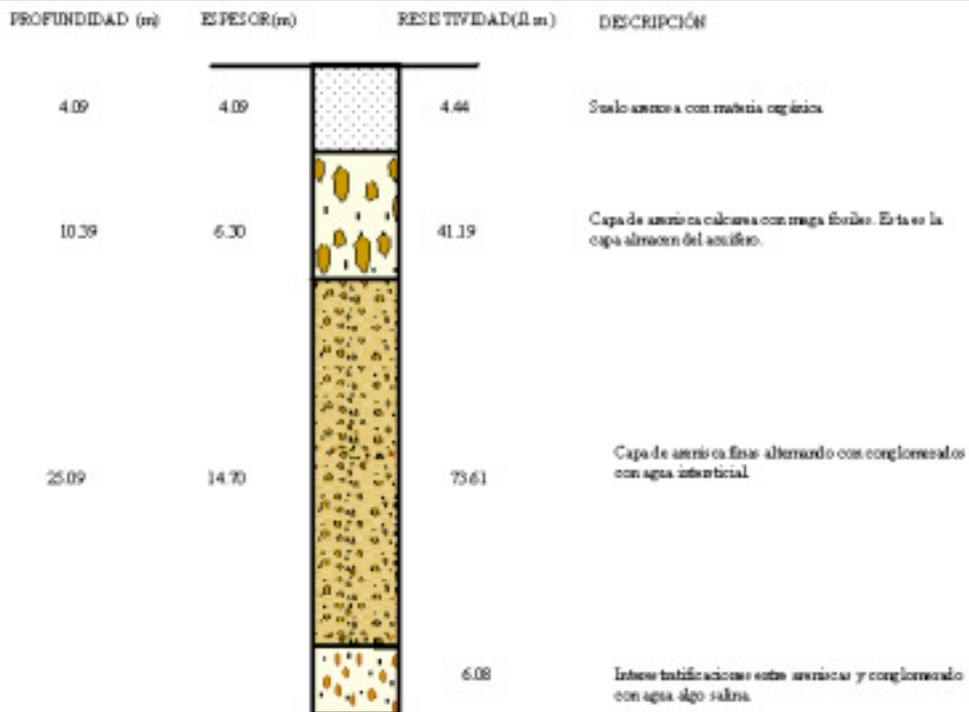
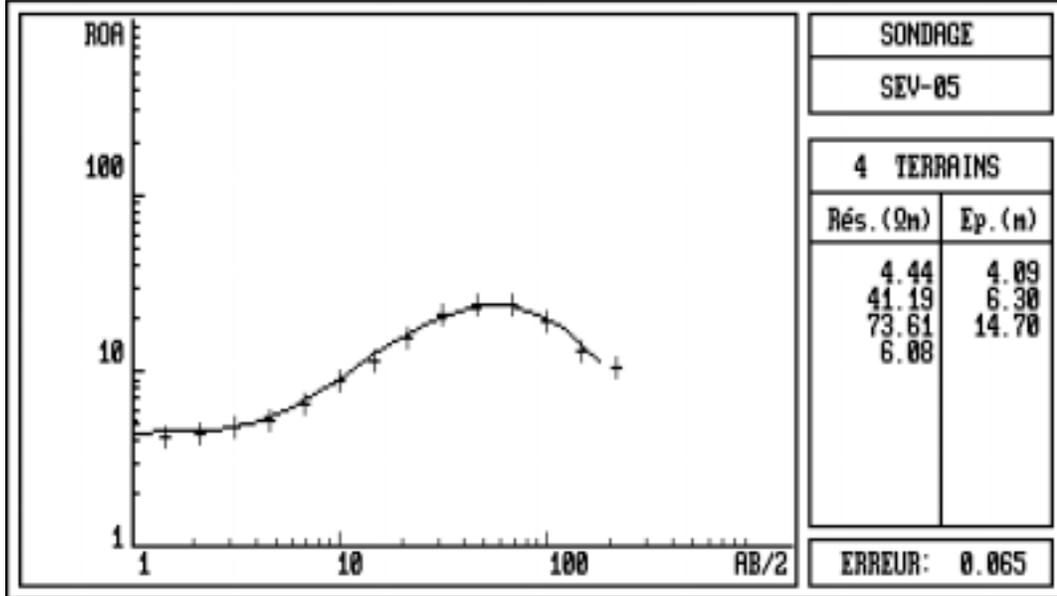
*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-03 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



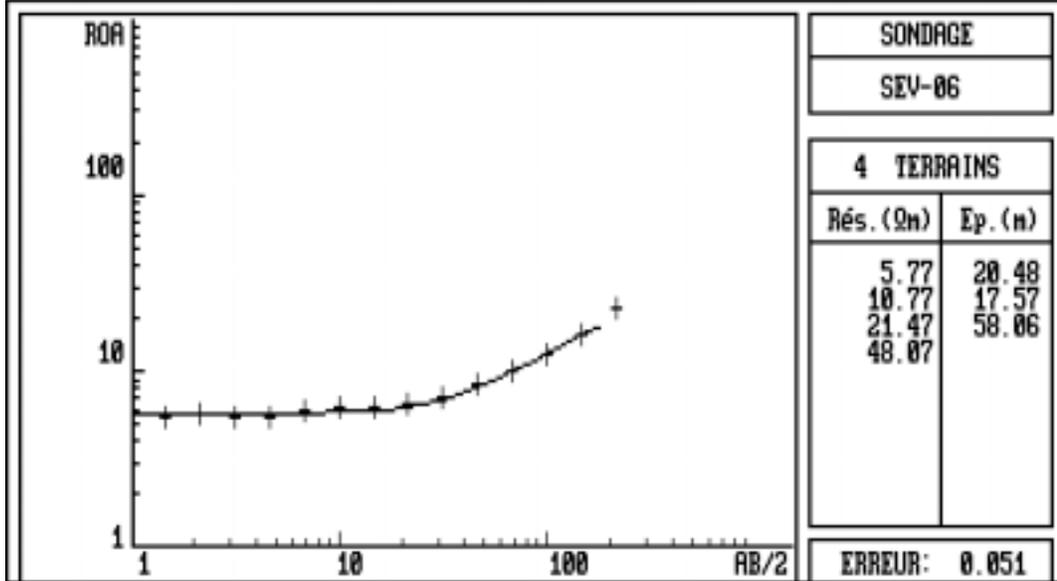
*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-04 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-05 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

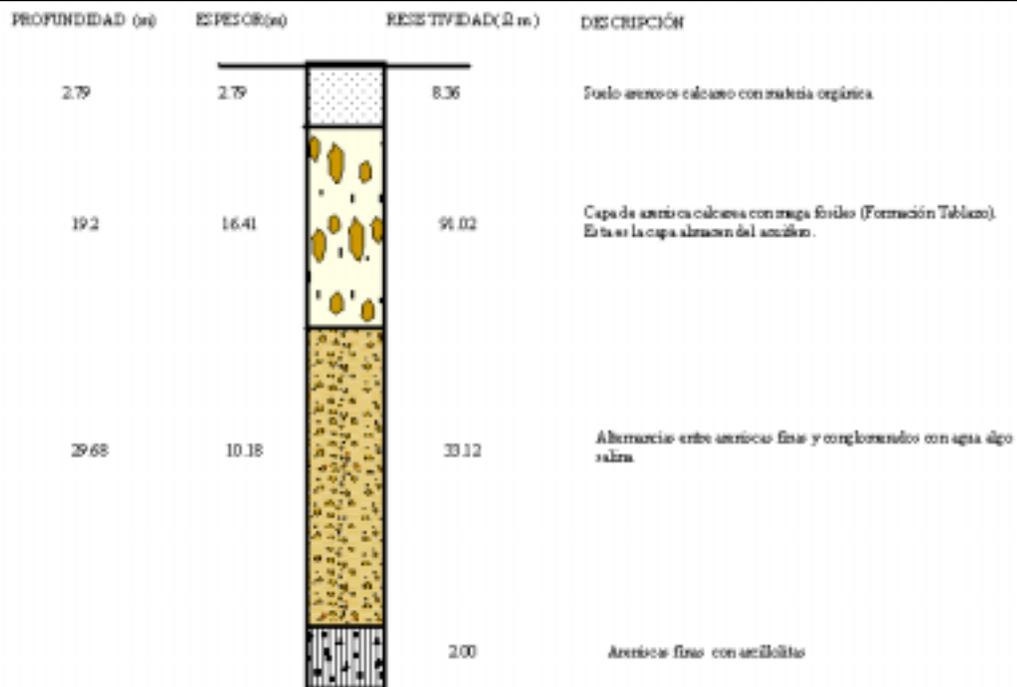
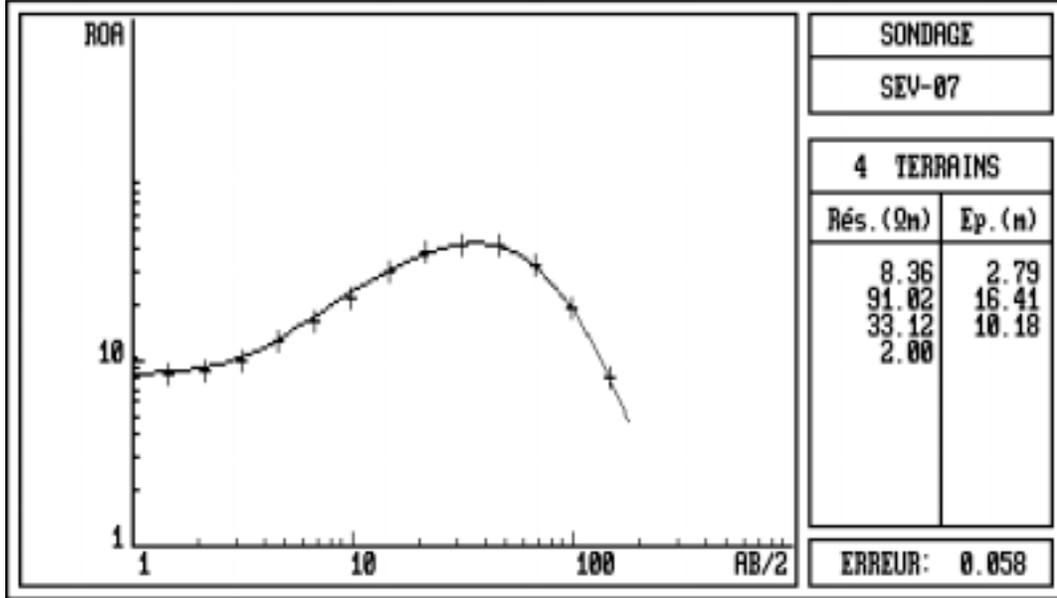
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR(m)	RESISTIVIDAD(Ω m)	DESCRIPCIÓN
20.48	20.48	5.77	Alternancia entre arenitas calcáreas con conglomeratos y materia orgánica.
38.05	17.57	10.77	Alternancia entre arenitas finas con conglomerados con agua algo salina.
96.11	58.06	21.47	Arenitas calcáreas interstratificadas con conglomerados con agua algo salina.
		48.07	Arenitas calcáreas gruesas alternando con conglomerados.

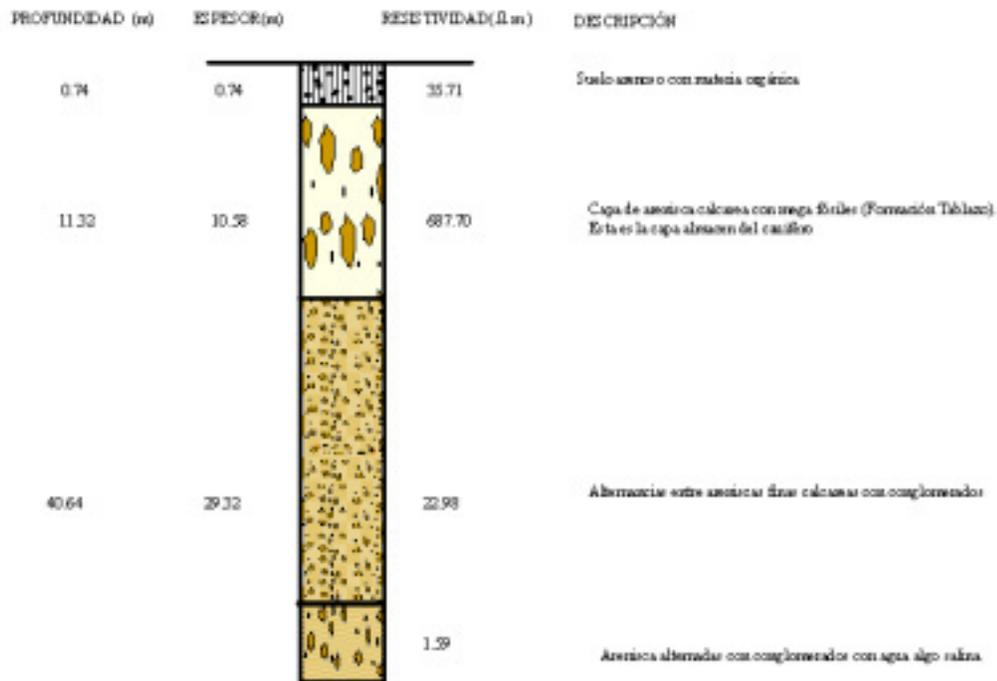
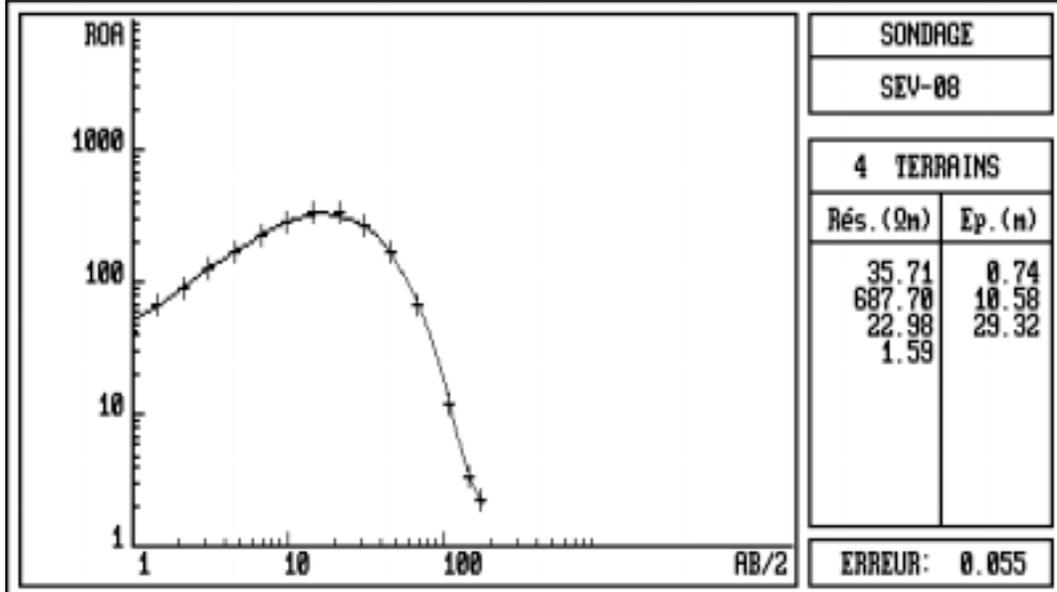
*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-06 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



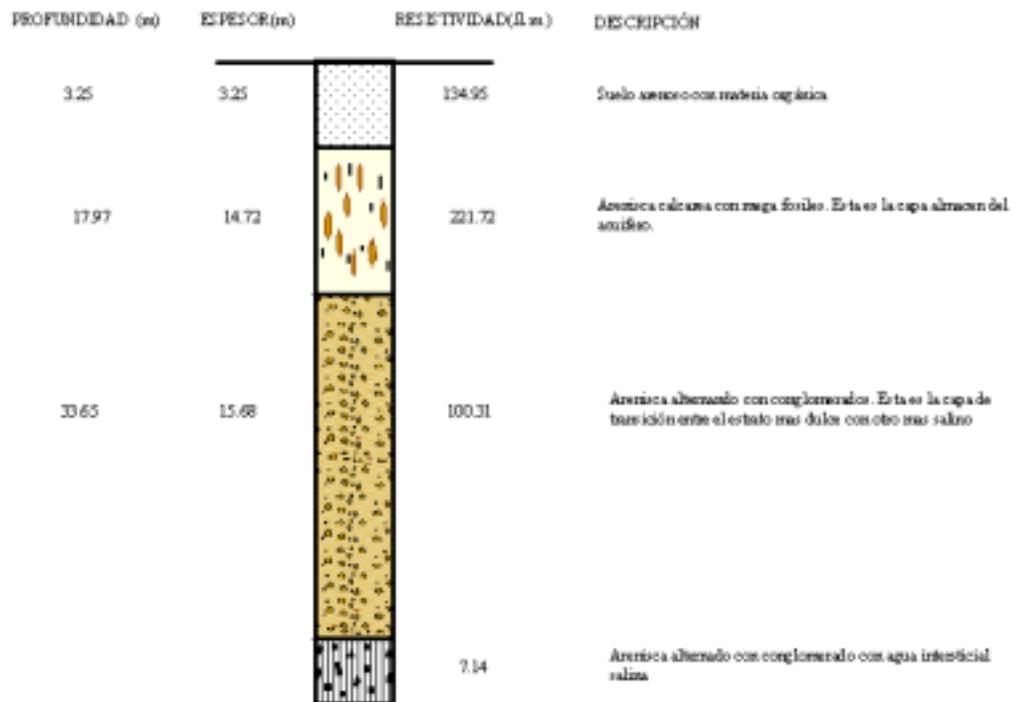
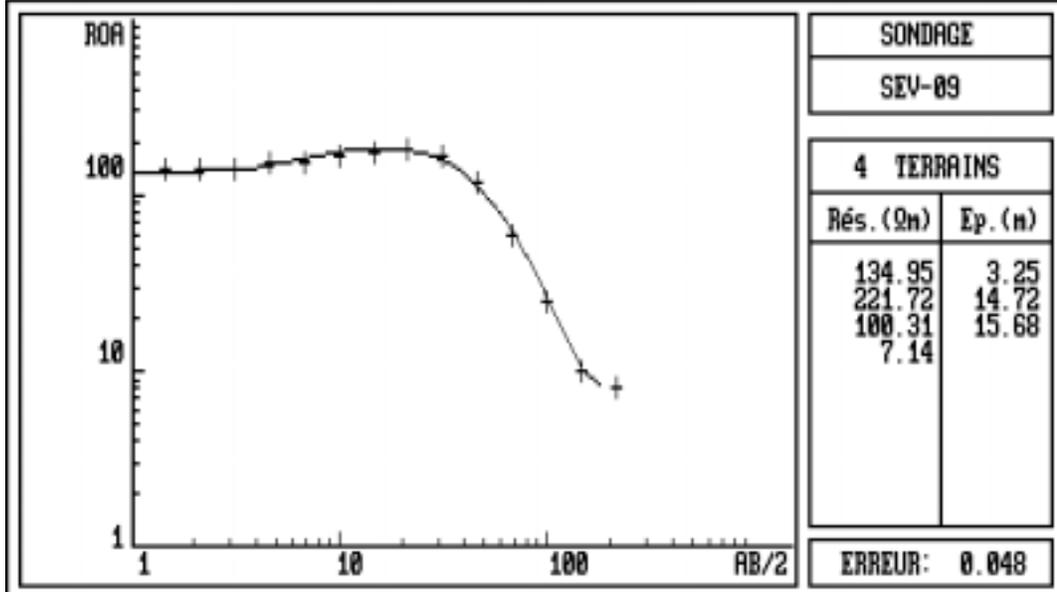
Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-07 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



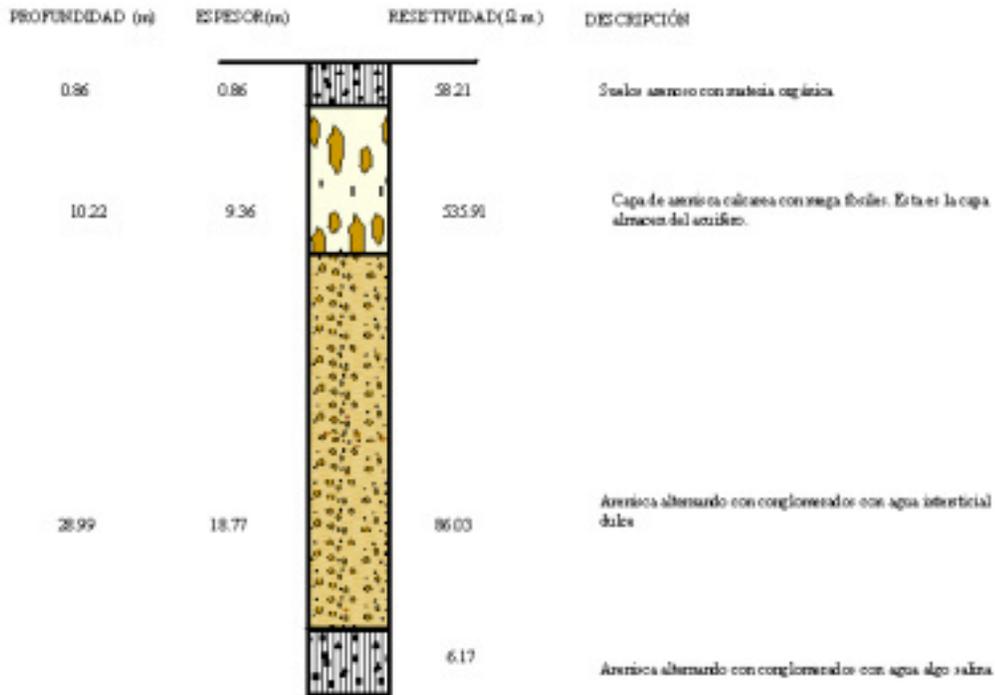
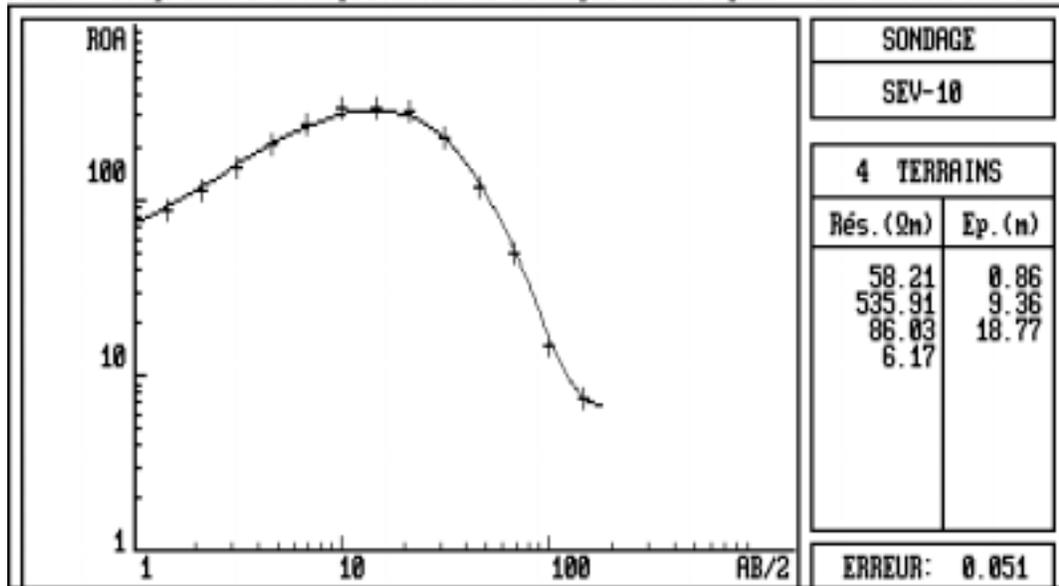
Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-08 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



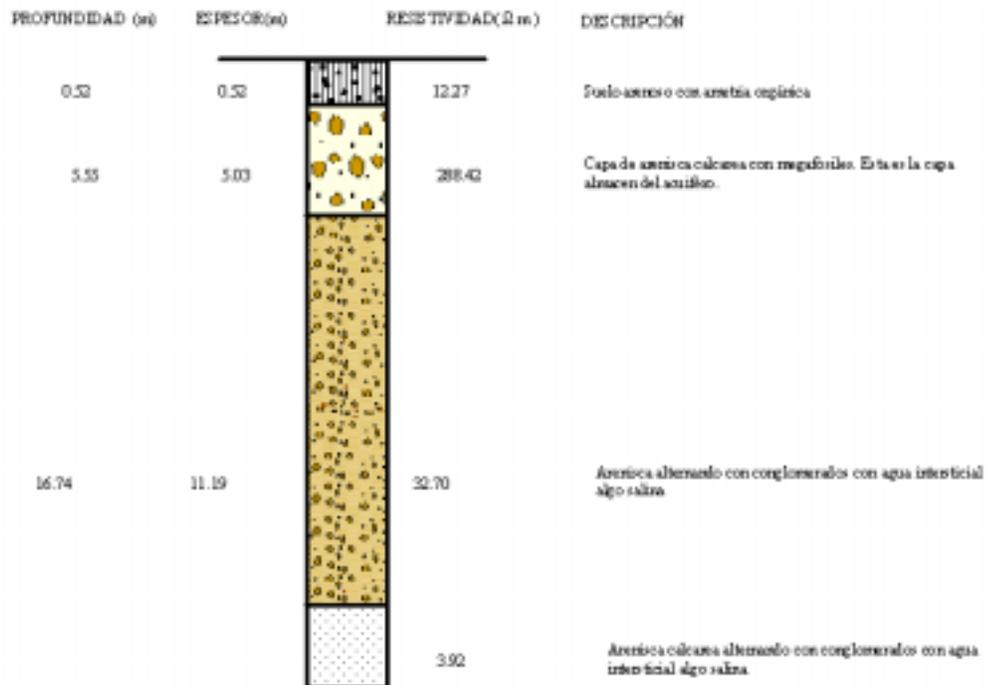
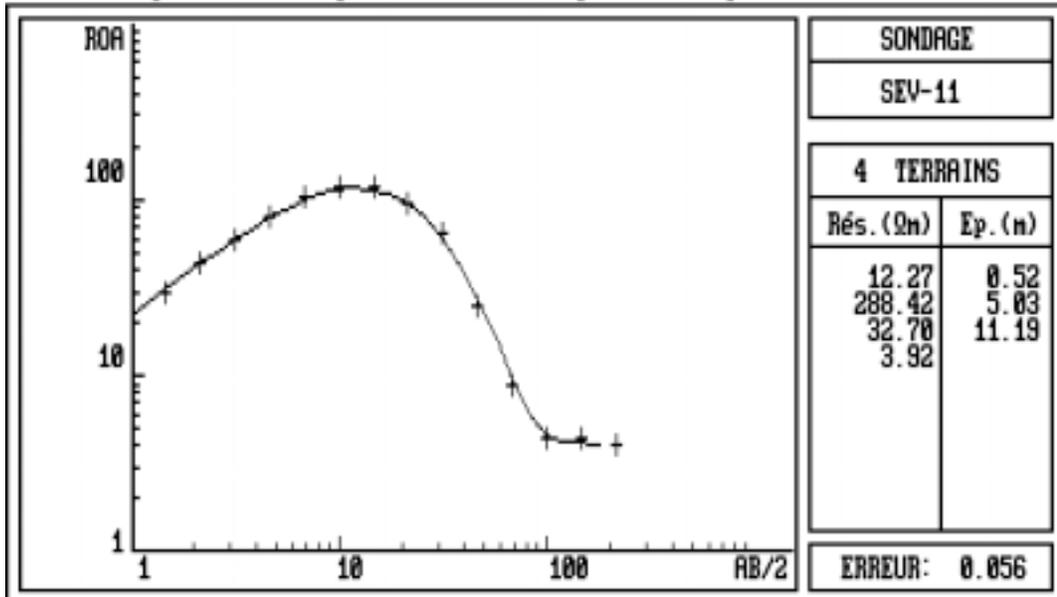
Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-09 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

FIG.4 - PROGRAMME d'INTERPRETATION de SONDAGES ELECTRIQUES - LGI URSTUM/LRG LNHs



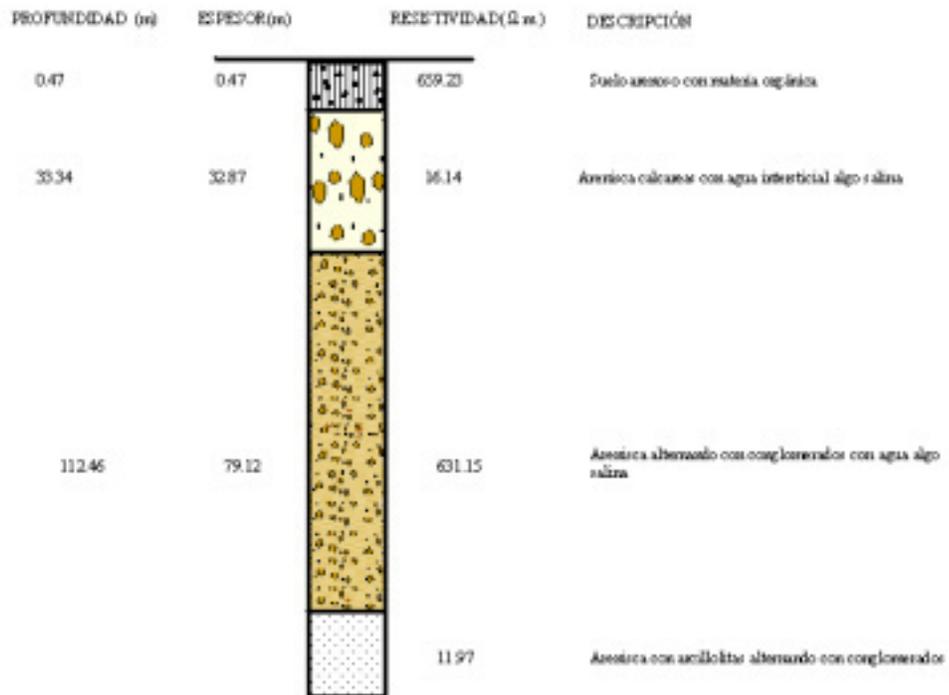
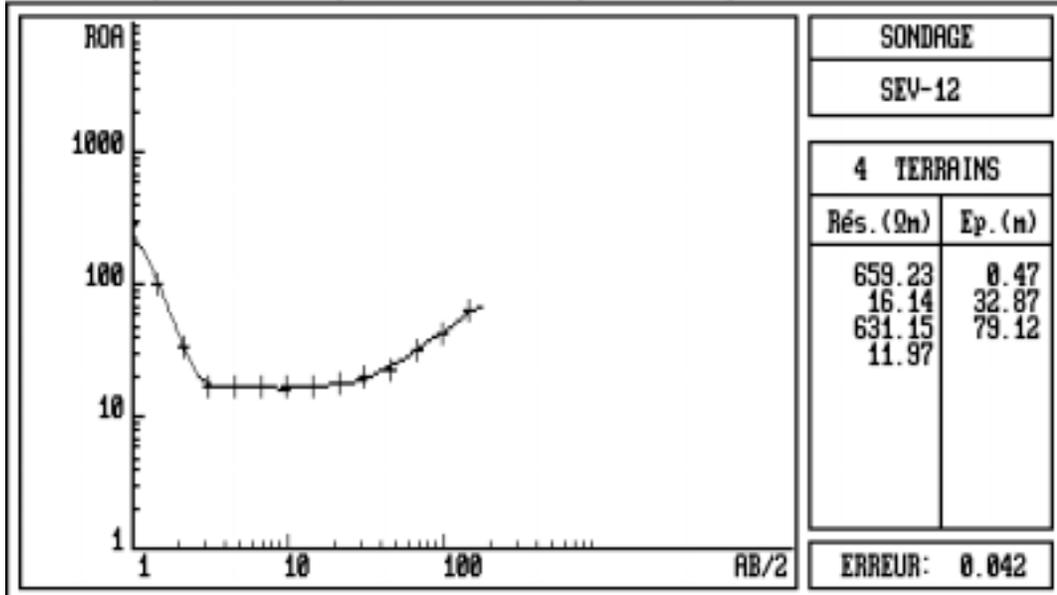
*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-10 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

FIG.14 - PROGRAMME d'INTERPRETATION de SONDAGES ELECTRIQUES - LGI URSTUM/LRG CNRS



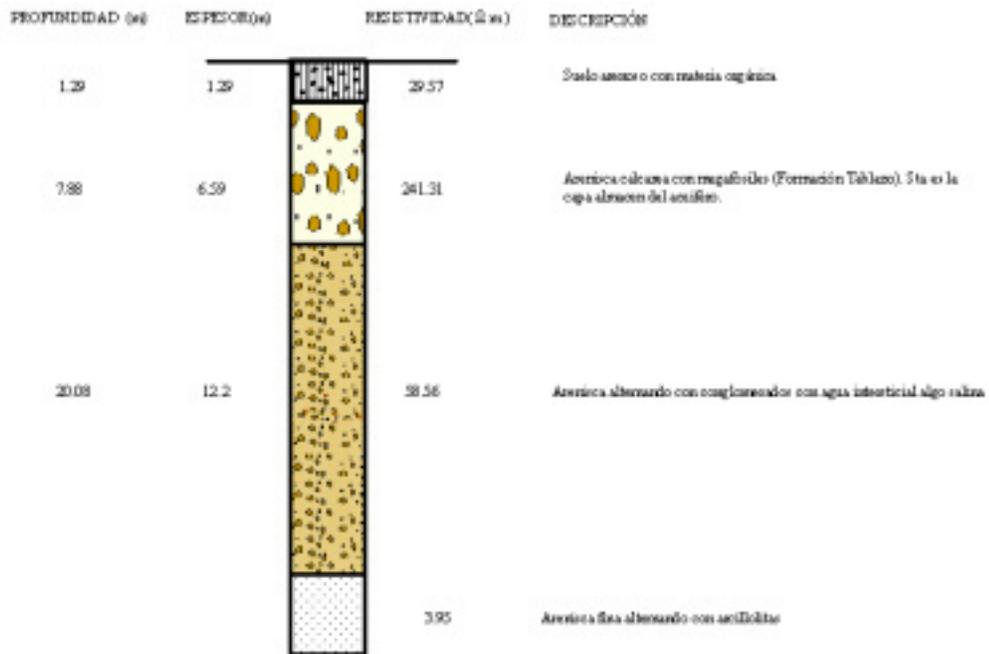
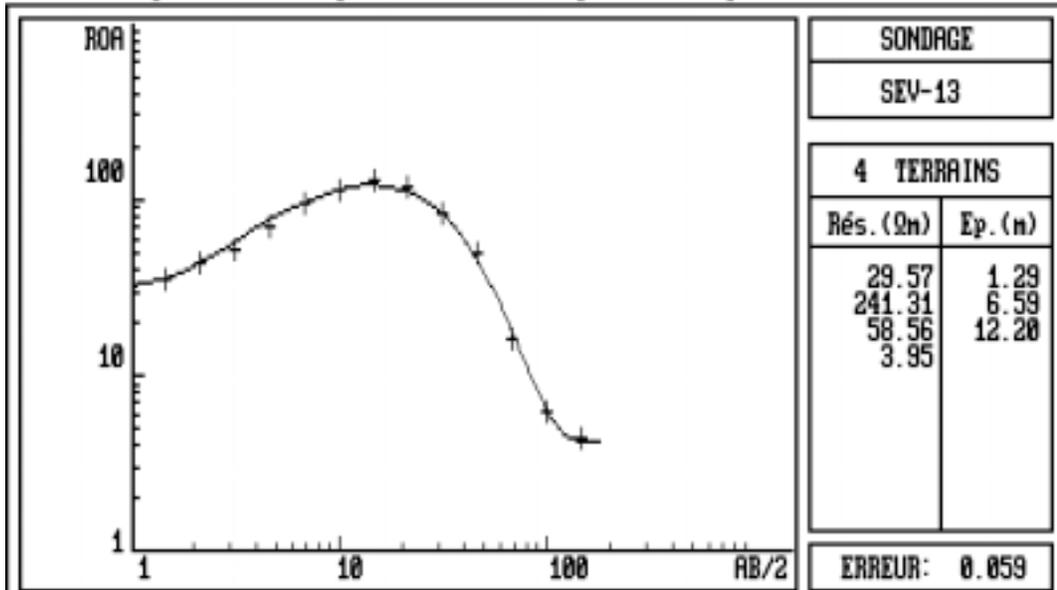
*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-11 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

F15L4 - PROGRAMME d'INTERPRETATION de SONDAGES ELECTRIQUES - LGI URSTUM/LRG UNRS

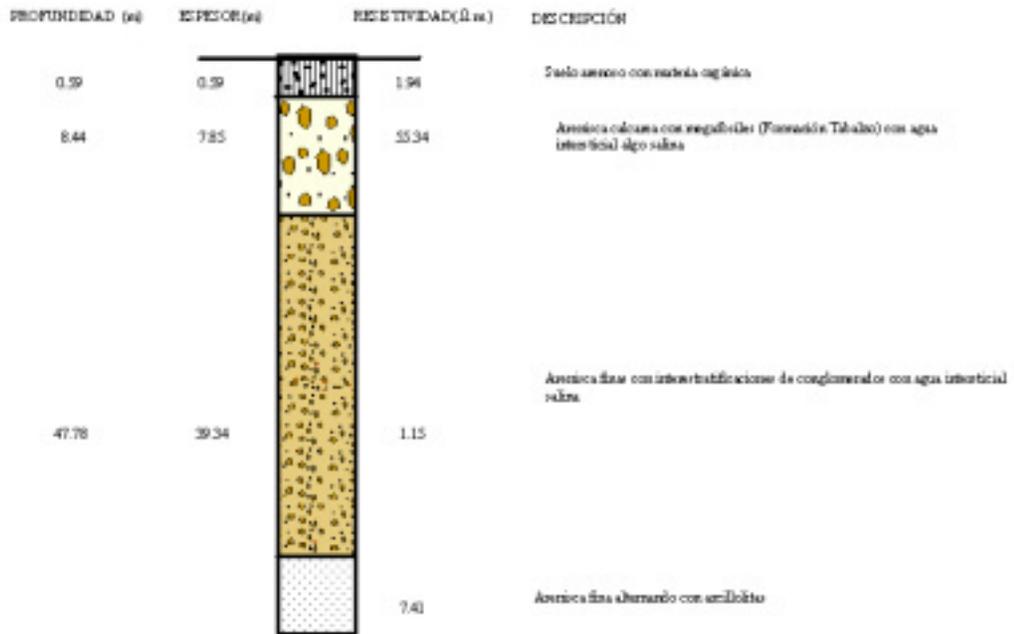
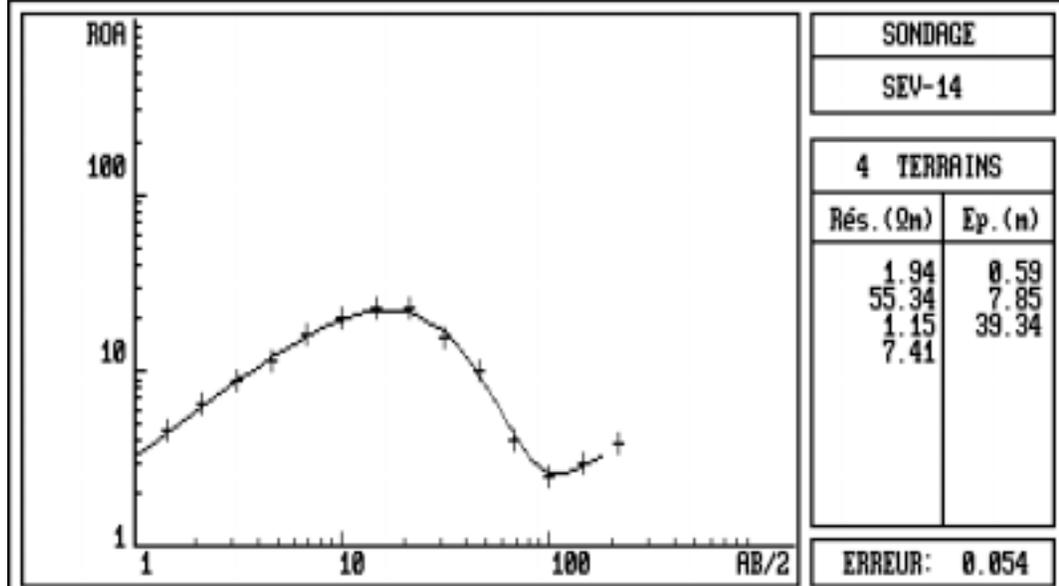


*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-12 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

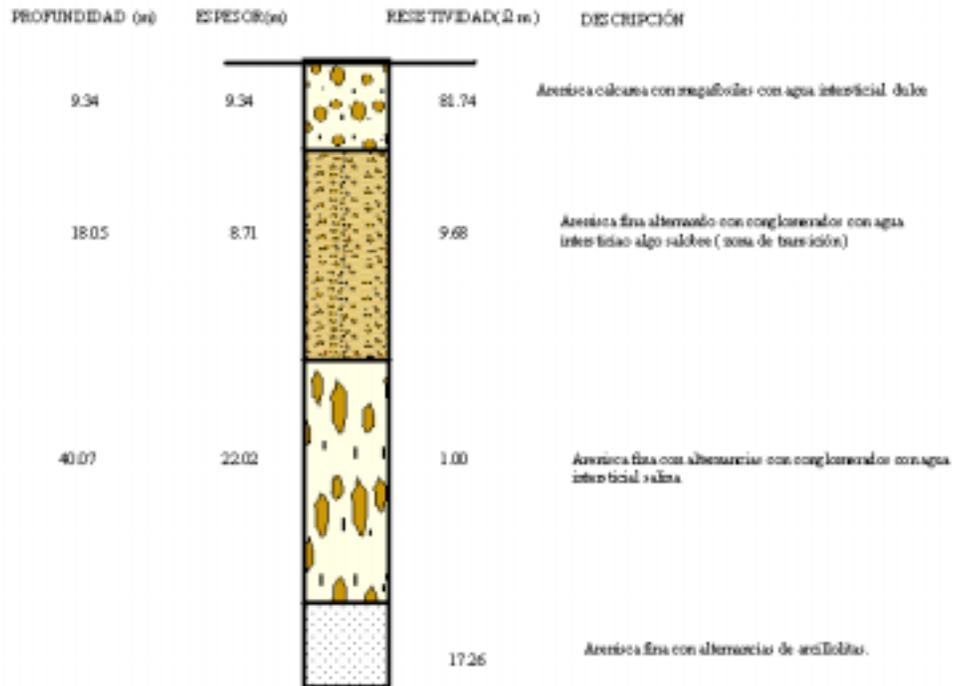
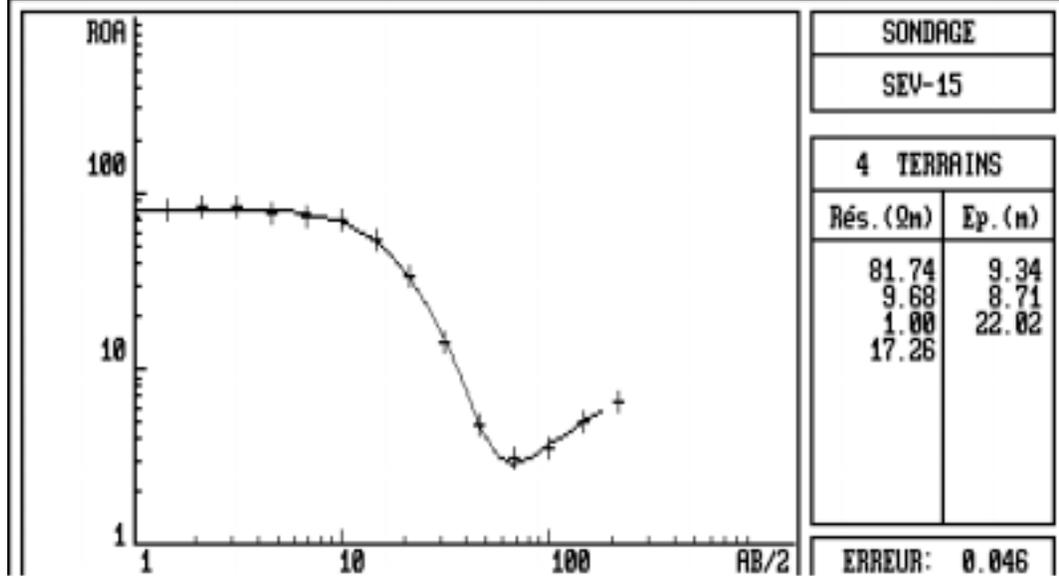
P1514 - PROGRAMME d'INTERPRETATION de SONDAGES ELECTRIQUES - LGI URSTUM/LRG UNRS



*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-13 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

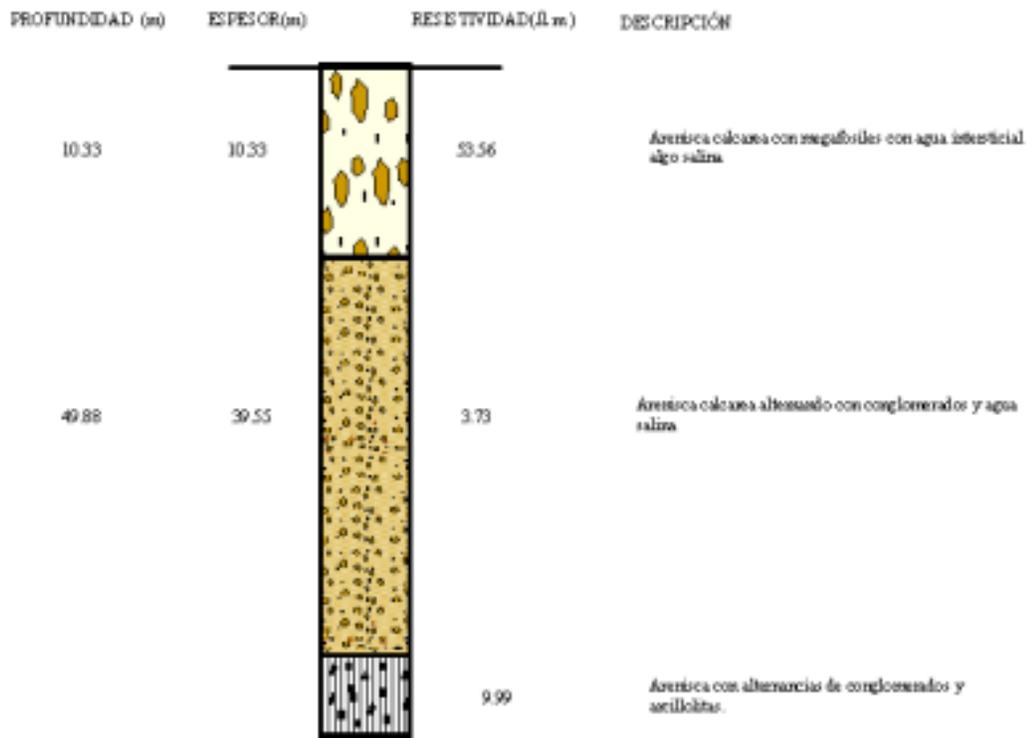
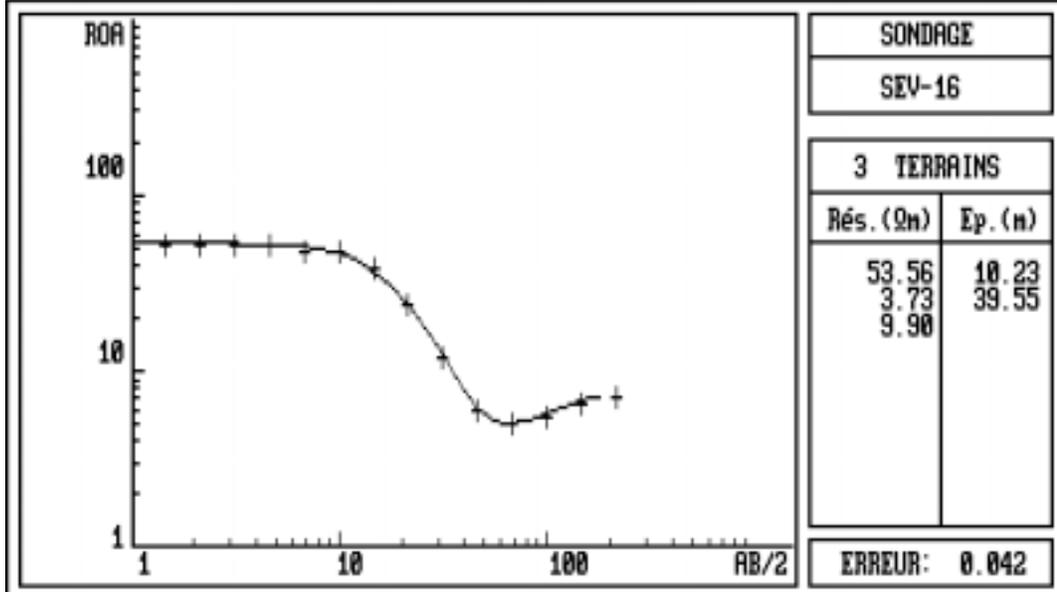


Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-14 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE



*Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-15 correspondiente a la Hacienda
ESPOL-PECHICHE*

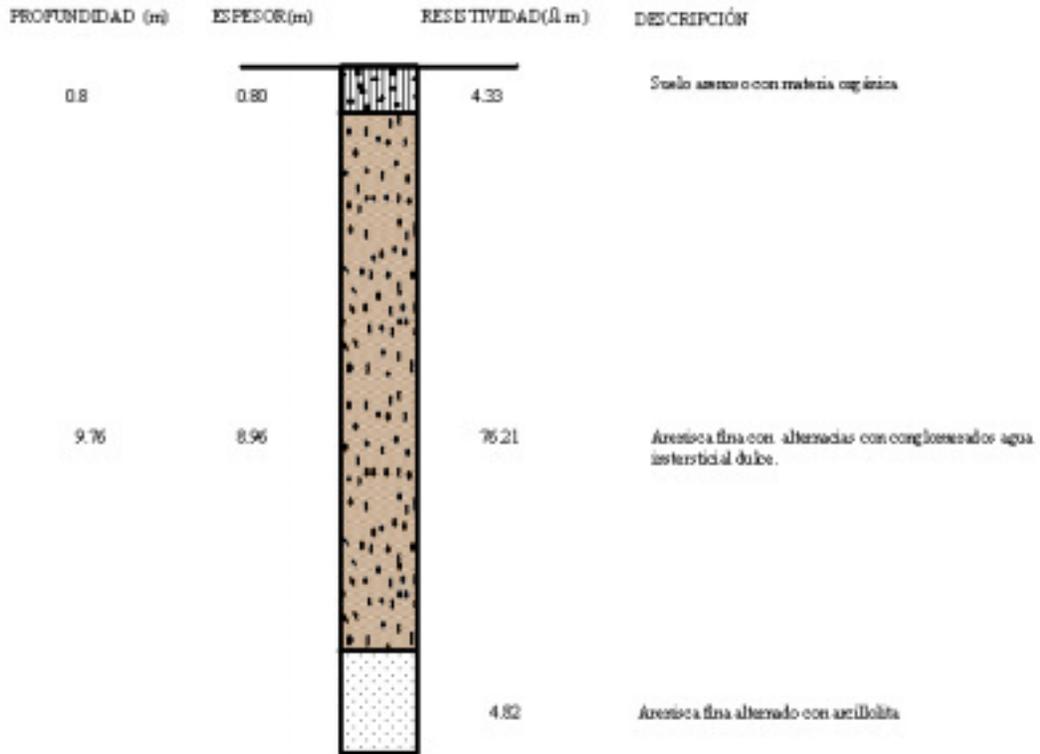
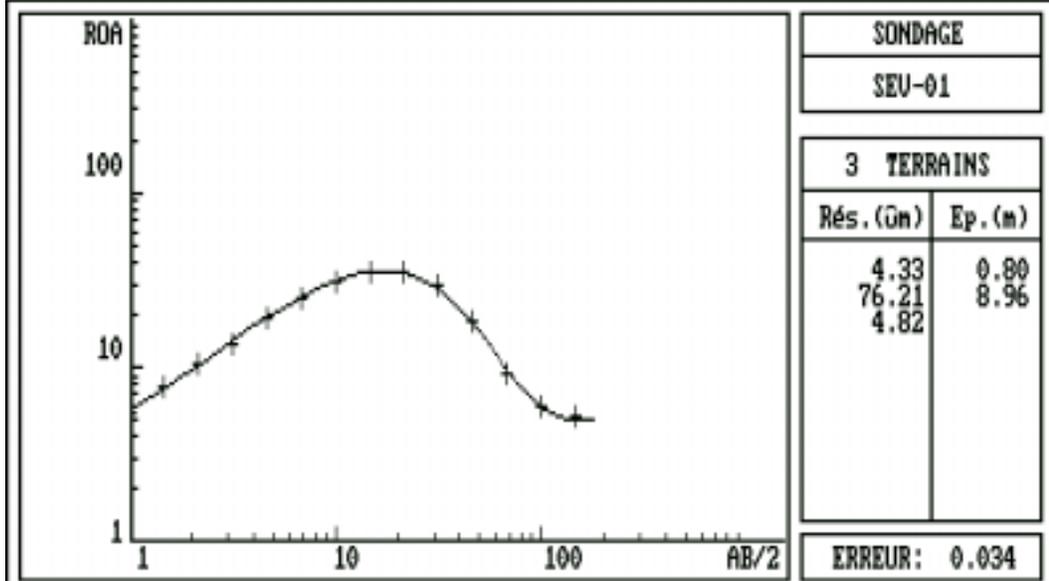
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del A-16 correspondiente a la Hacienda ESPOL-PECHICHE

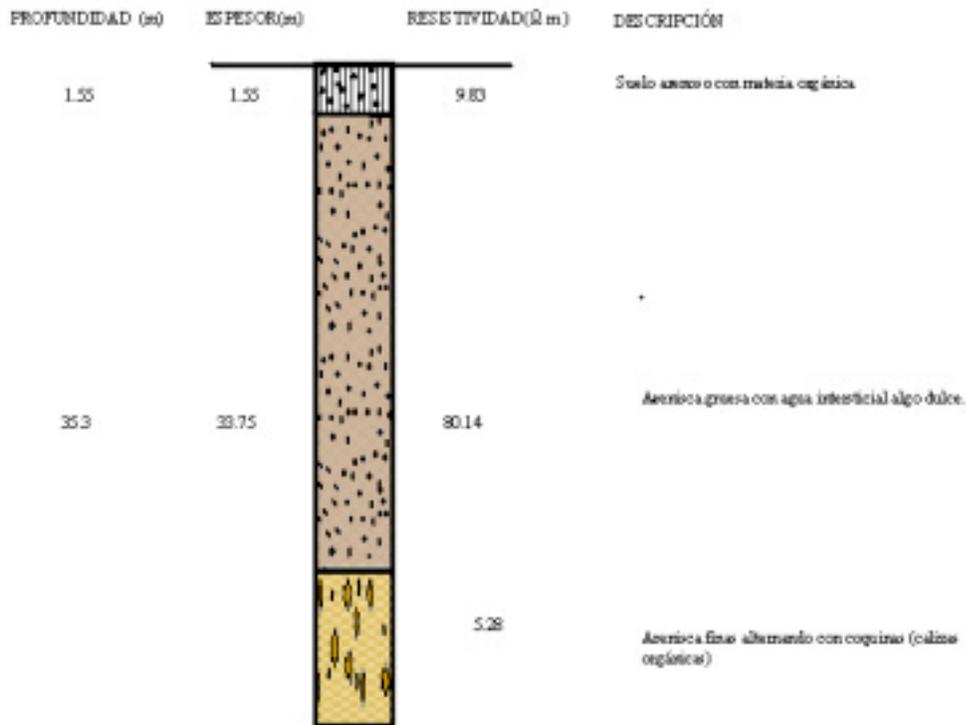
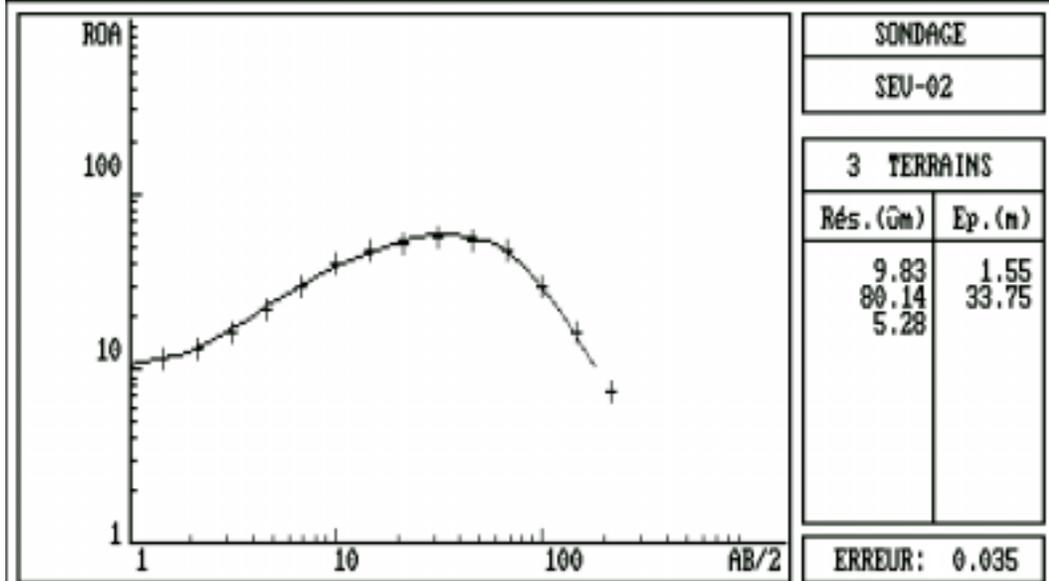
9.3. Interpretación con el programa PISE 4 de los sondeos del Proyecto ESPOL-Pechiche y del Museo Real Alto.

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-01 correspondiente al Museo Real Alto

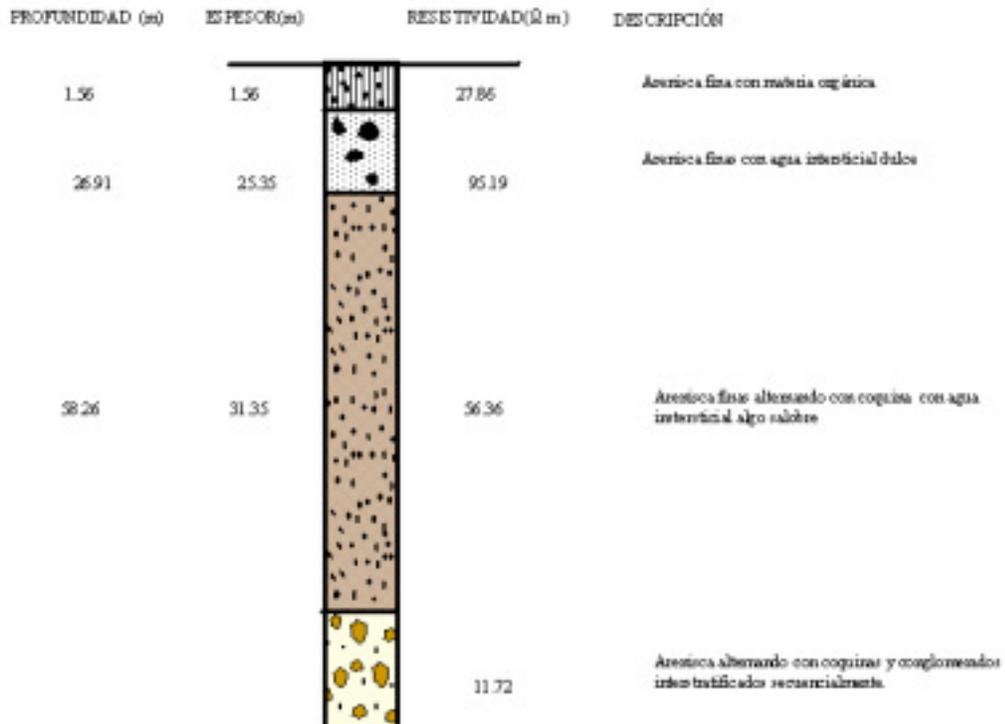
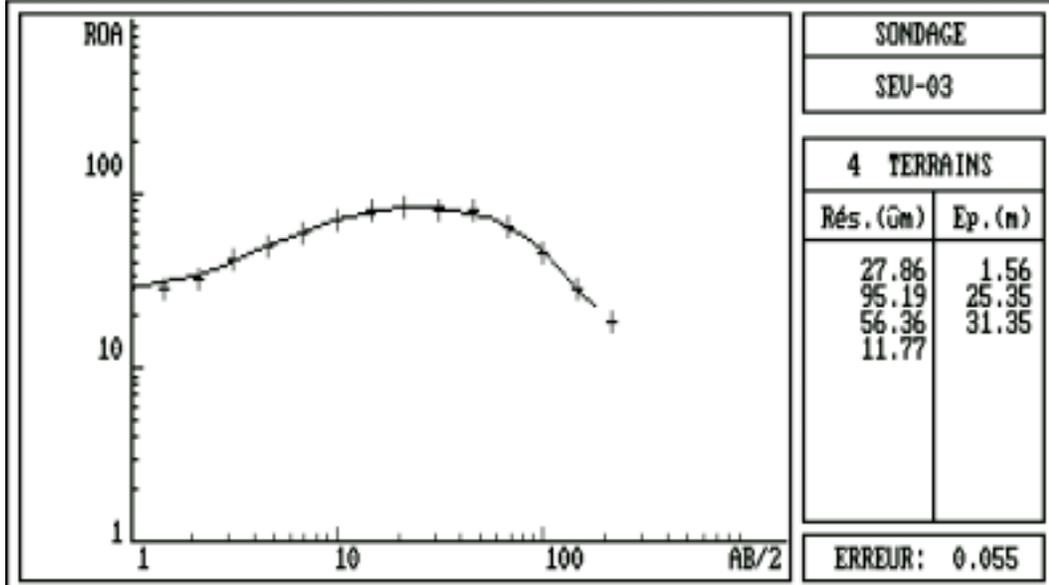
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-02 correspondiente al Museo Real

Alto

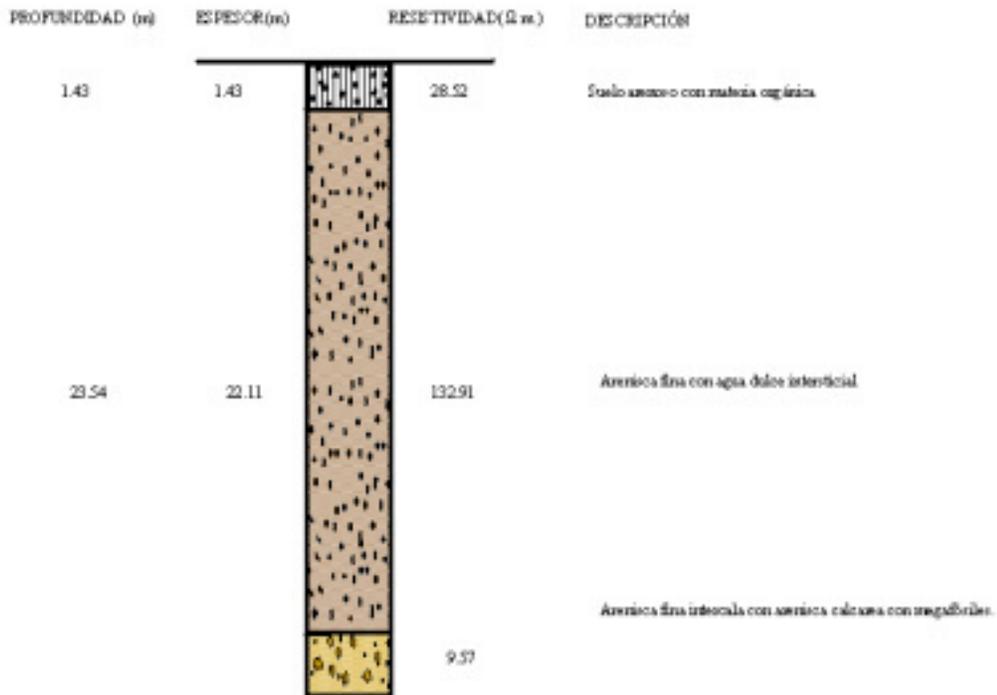
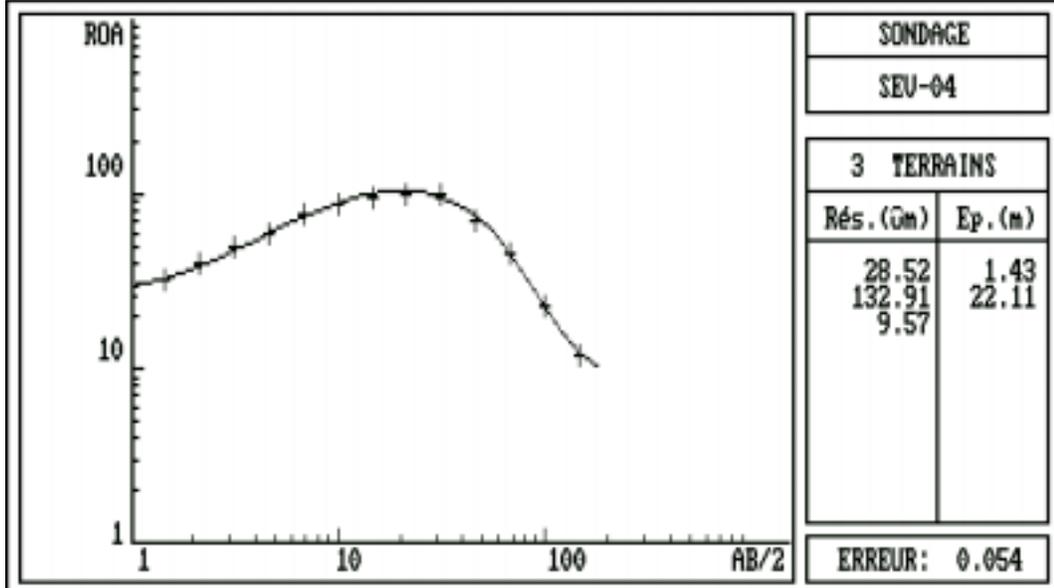
PISA4 - Programme d'Interpretation de Sondages Electriques - LGI URSTUM/CHG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-03 correspondiente al Museo Real

Alto

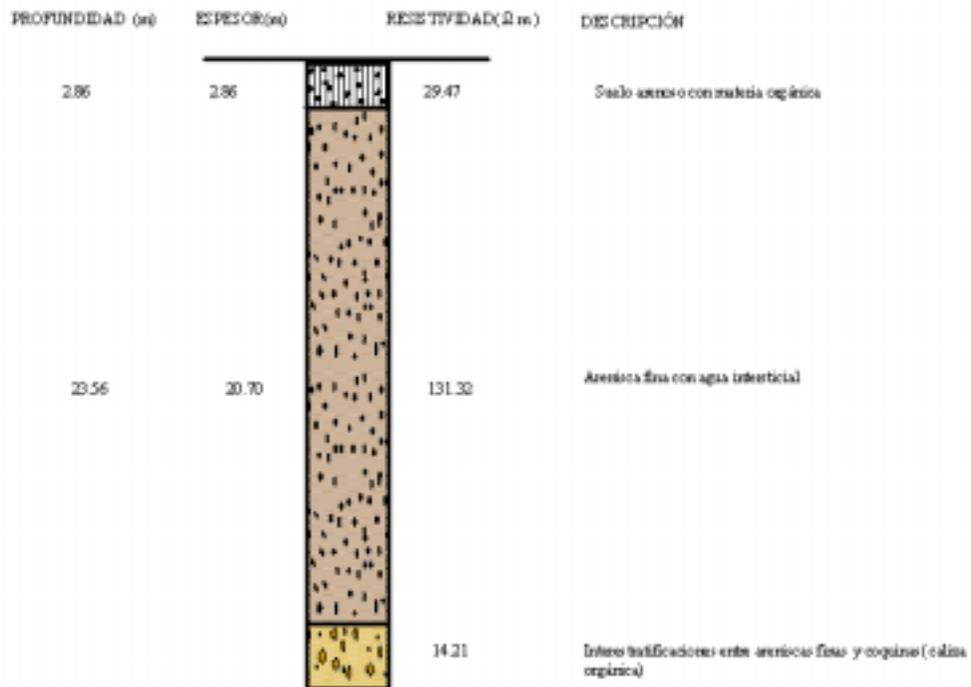
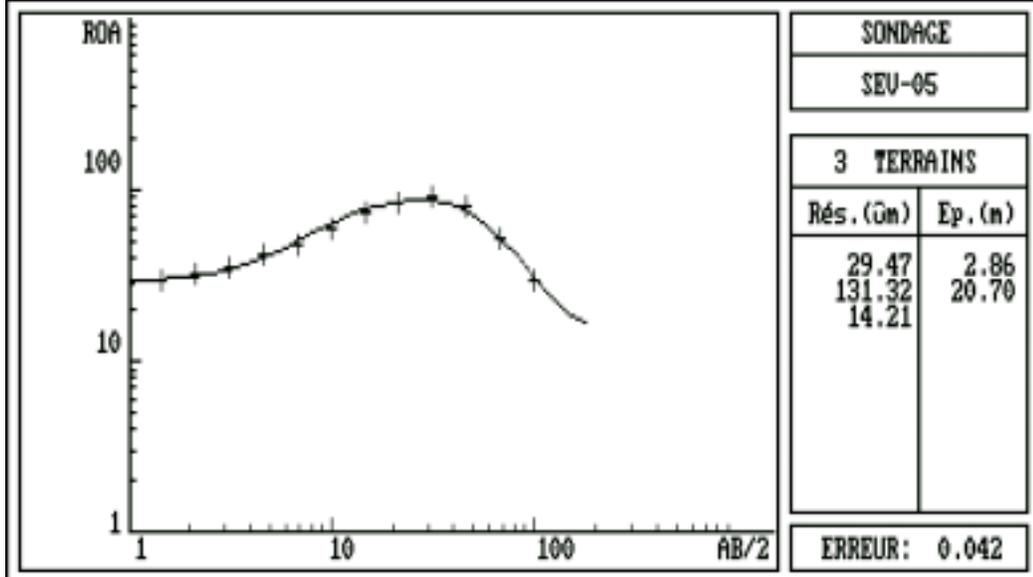
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRC CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-04 correspondiente al Museo Real

Alto

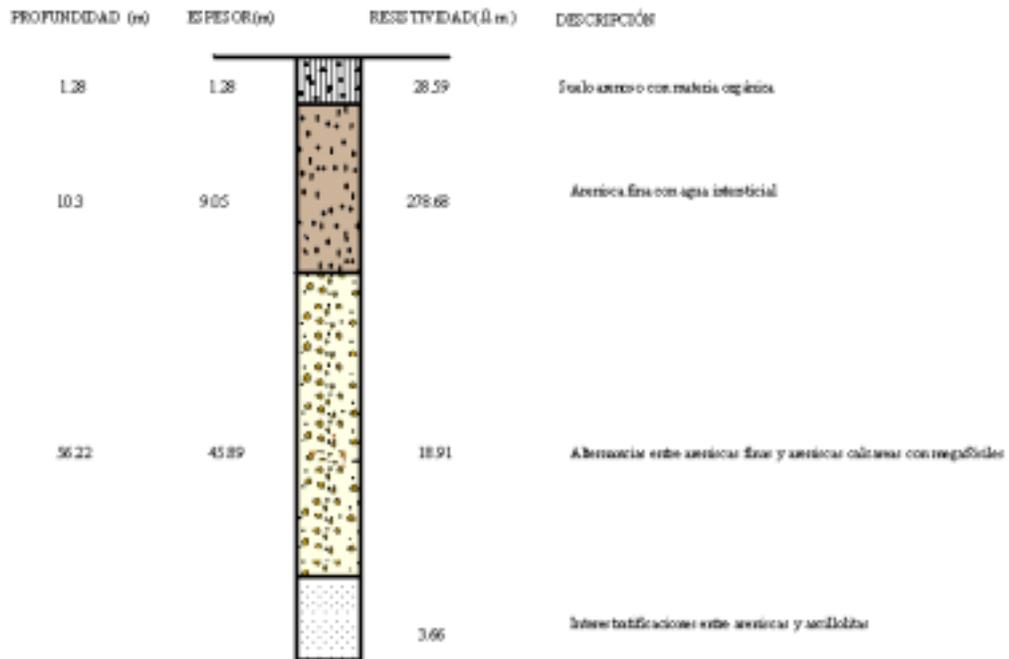
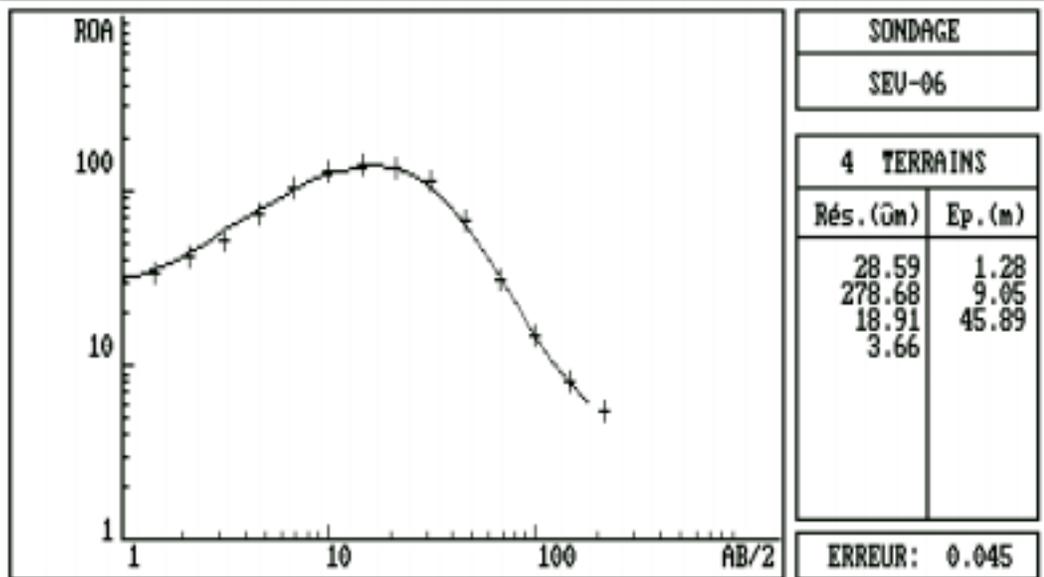
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-05 correspondiente al Museo Real

Alto

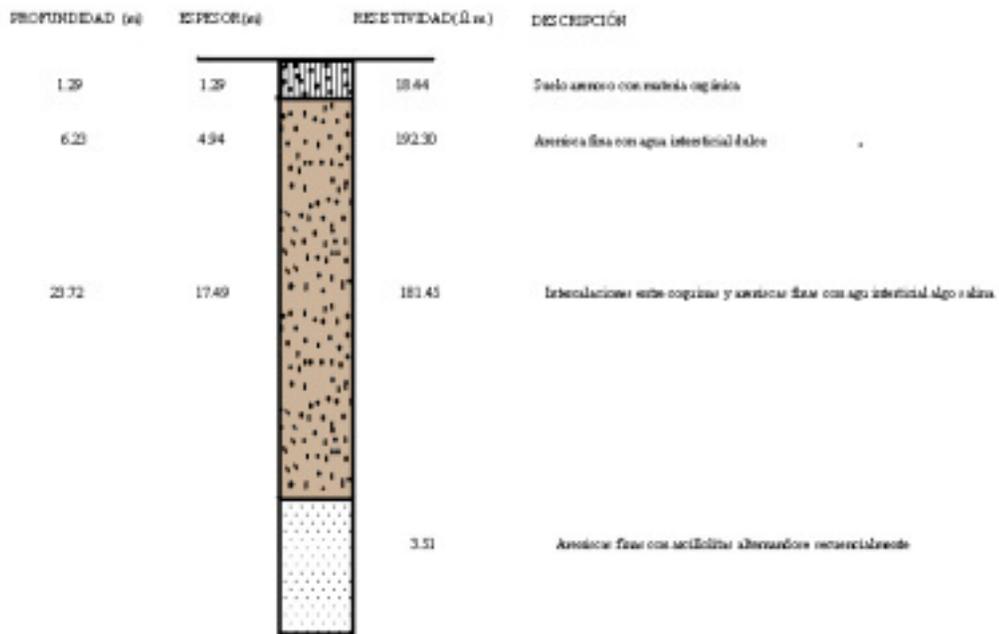
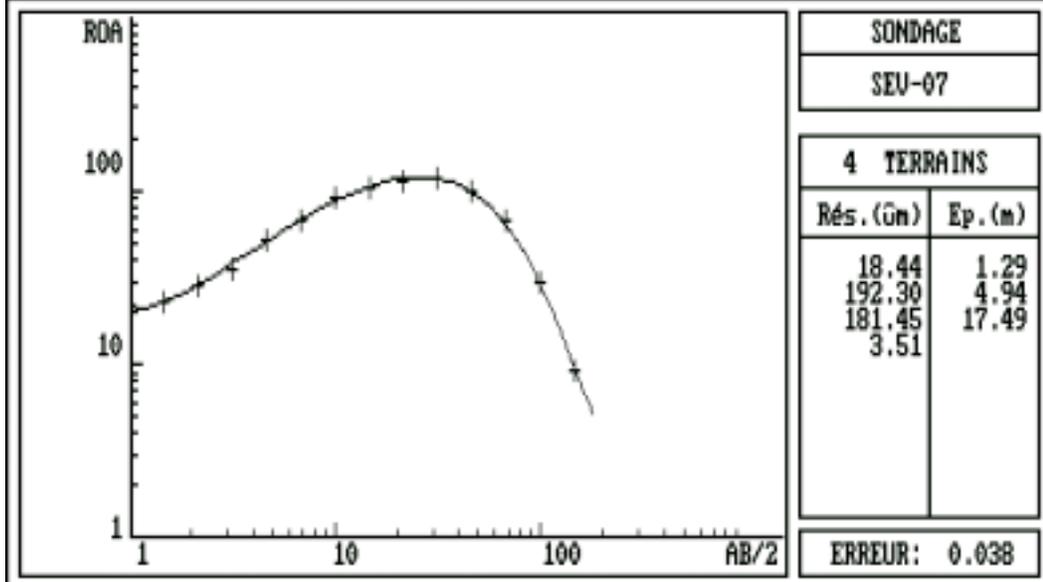
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-06 correspondiente al Museo Real

Alto

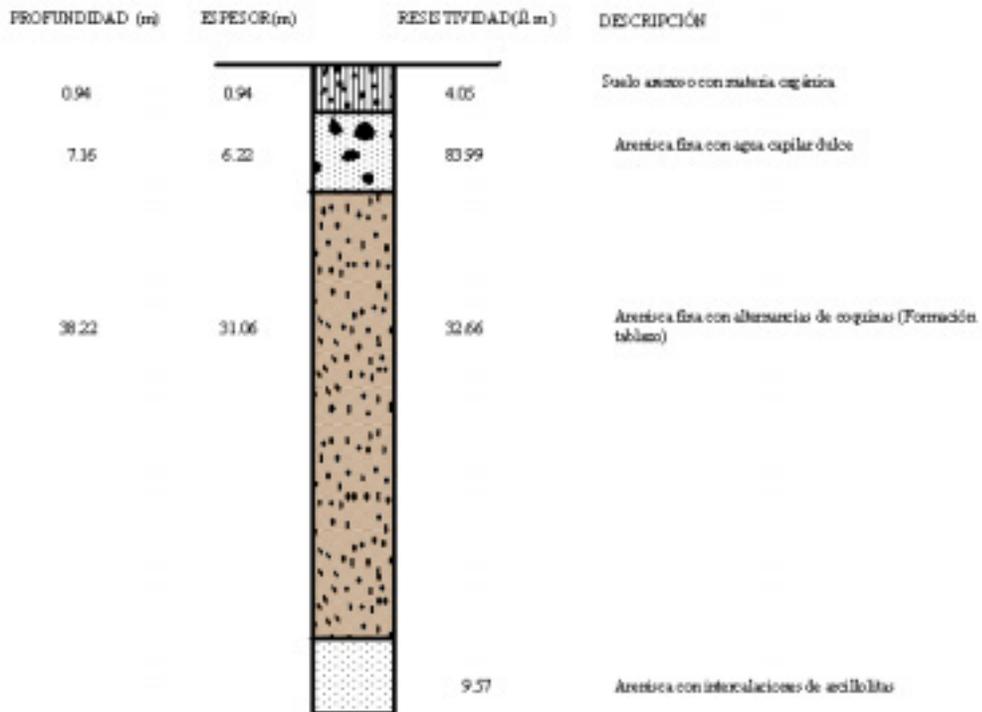
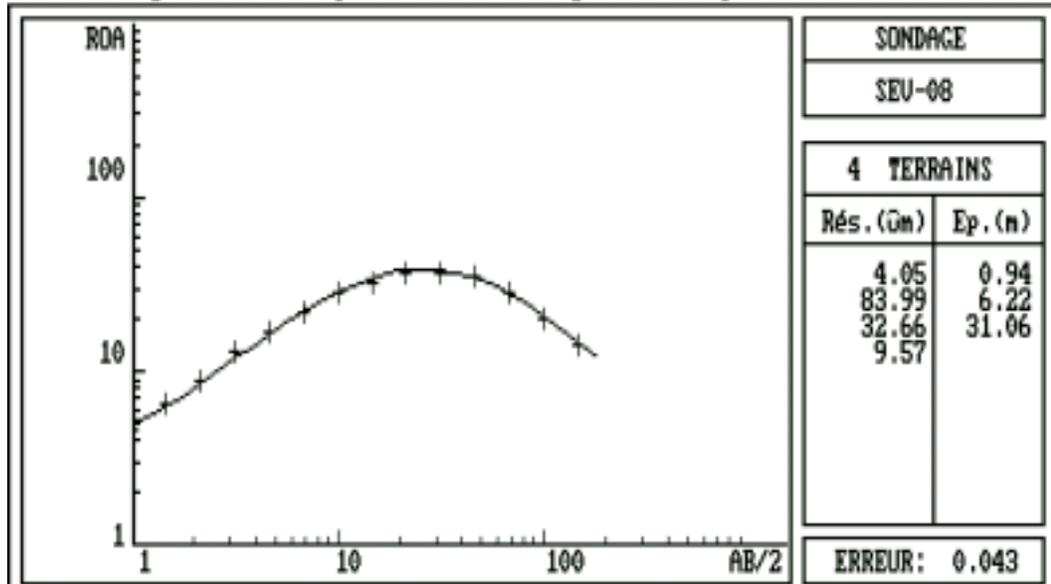
PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-07 correspondiente al Museo Real

Alto

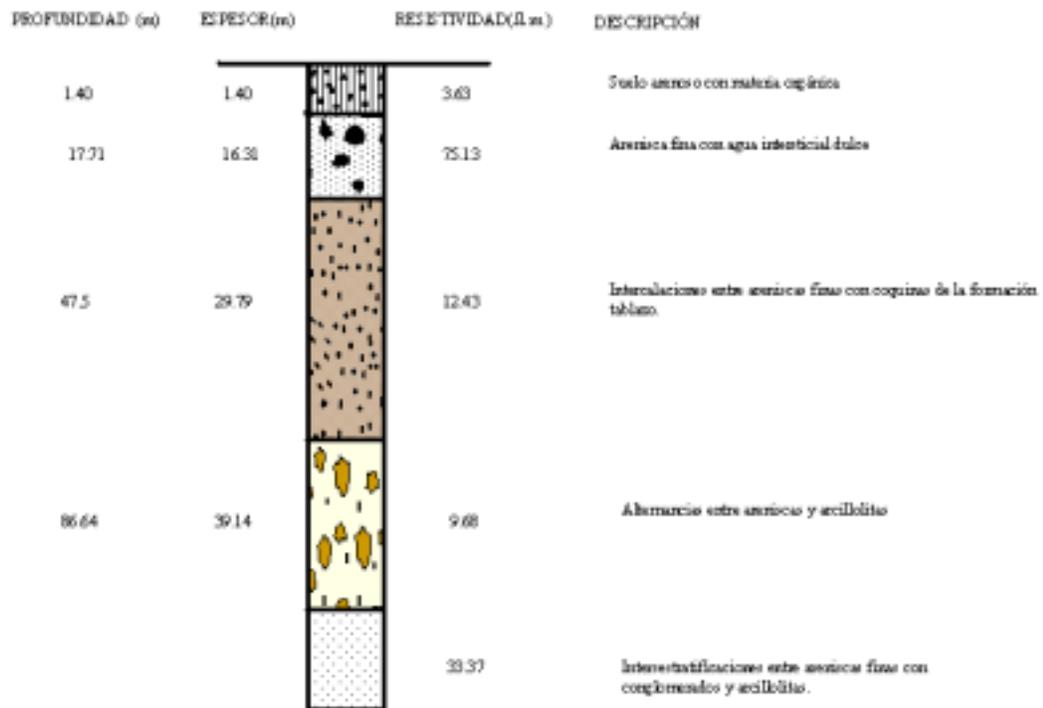
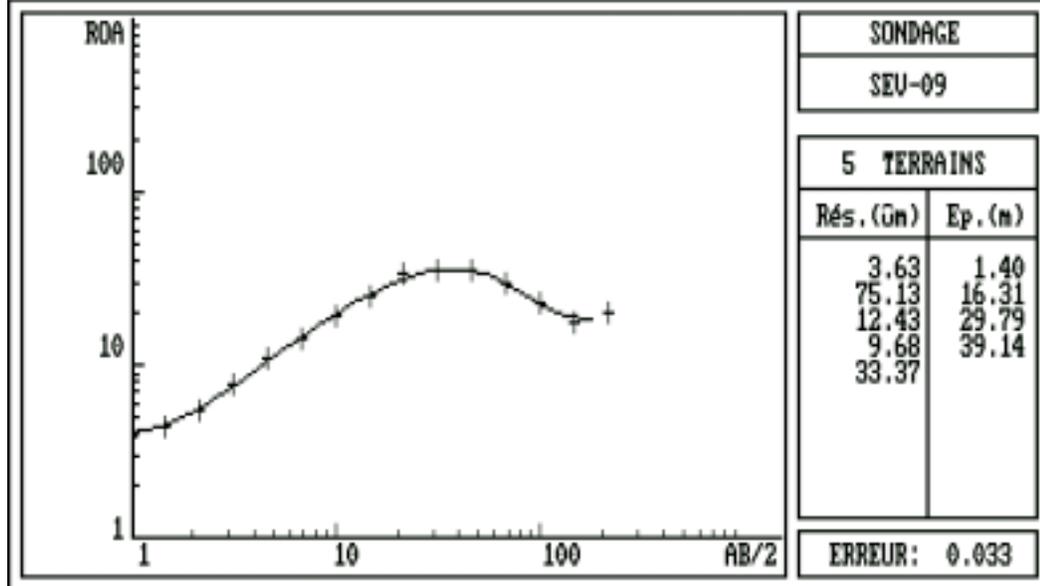
FIGURA - PROGRAMME D'INTERPRETATION DE SONDAGES ELECTRIQUES - L&L URSTUM/CH&L L&L



Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-08 correspondiente al Museo Real

Alto

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Électriques - LGI ORSTOM/CRC CNRS



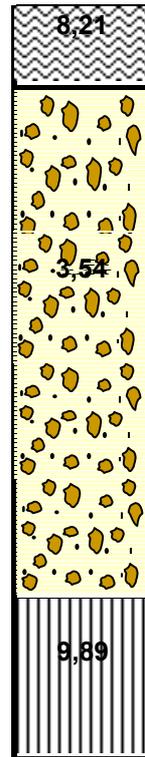
Ajuste matemático y columna geoelectrica del M-09 correspondiente al Museo Real Alto.

Columna Geo- Eléctrica del SEV-27.

Profundidad(m)	Espesor(m)	Resistividad (m)	Descripción
----------------	------------	------------------	-------------

1.49 1.49

30.67 29.18

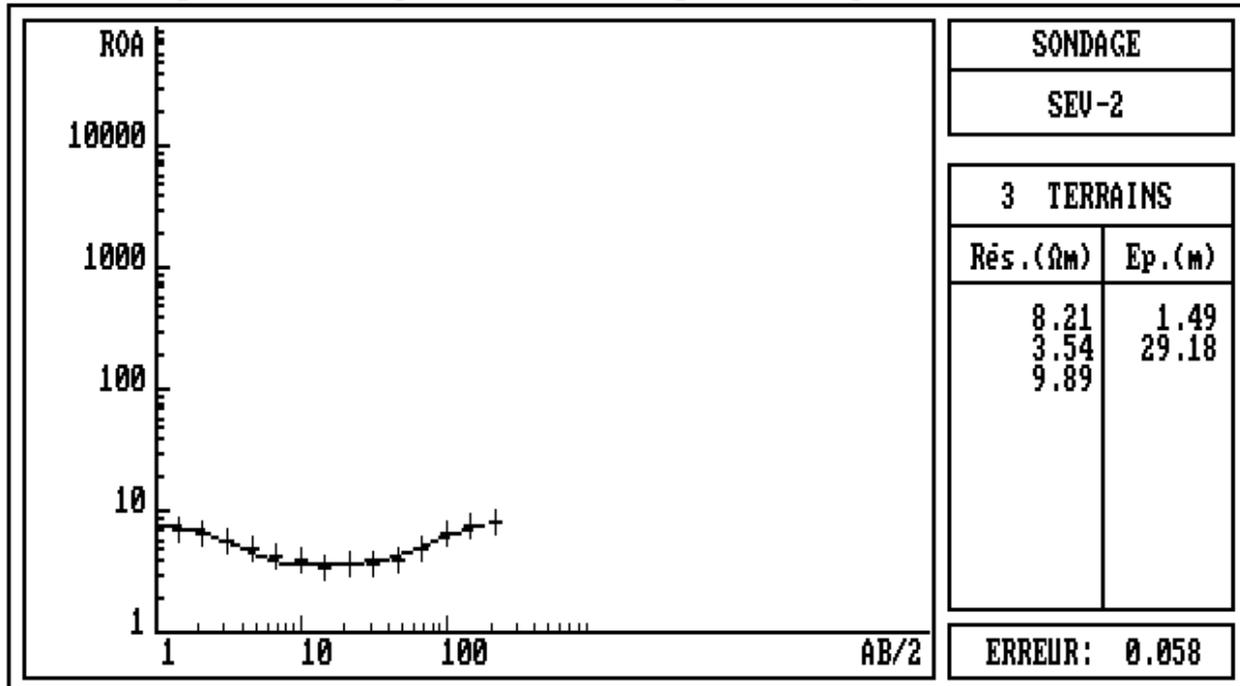


Suelo

Areniscas
con
conglomerados
calcáreos
con agua salina

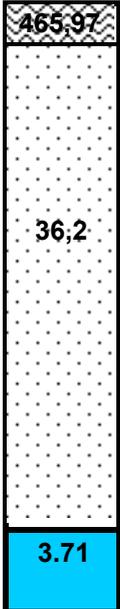
Limolitas

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Eléctriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS

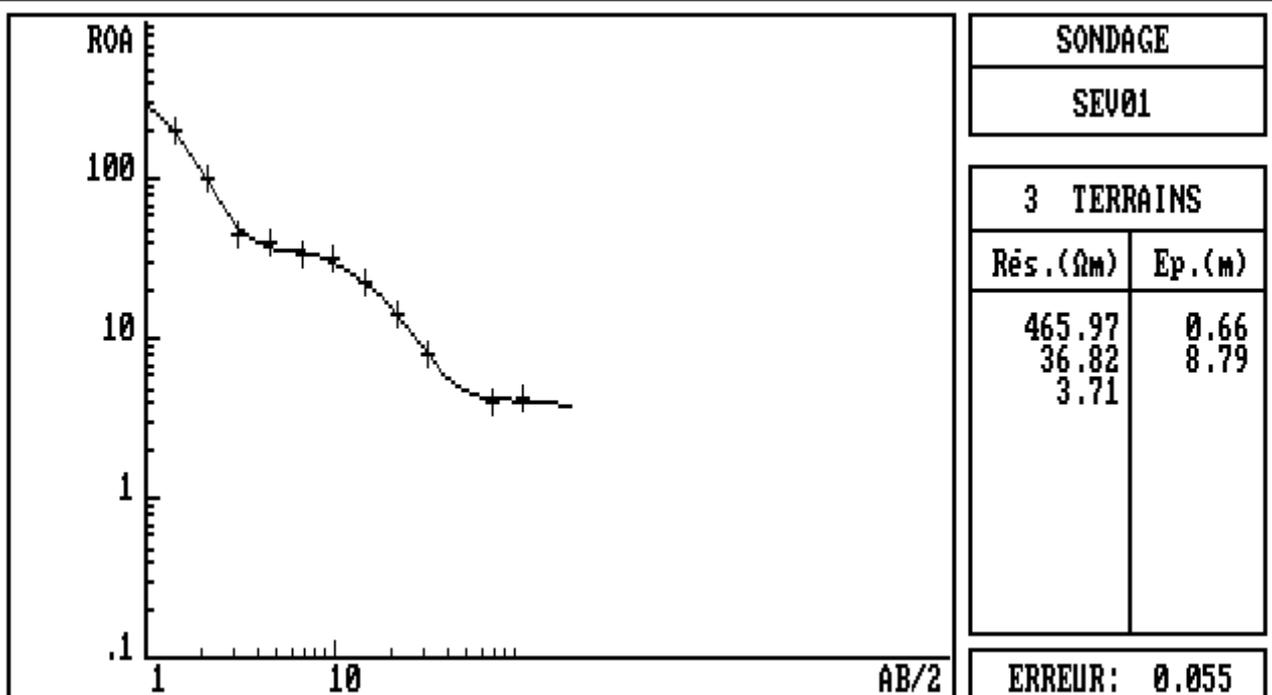


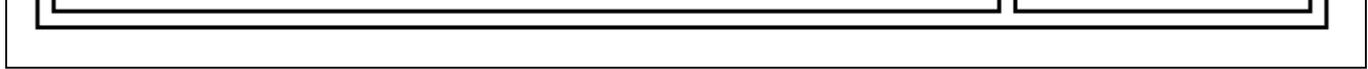
Columna Geo- Eléctrica del SEV-26.

Profundidad(m)	Espesor(m)	Descripción
----------------	------------	-------------

0.66	0.66		<p style="color: #800000;">Suelo orgánico con vegetación</p>
9.45	8.79	<p style="color: #800000;">Arenas finas color café habano</p>	
		<p style="color: #800000;">Limolitas</p>	

PISE4 - Programme d'Interprétation de Sondages Eléctriques - LGI ORSTOM/CRG CNRS





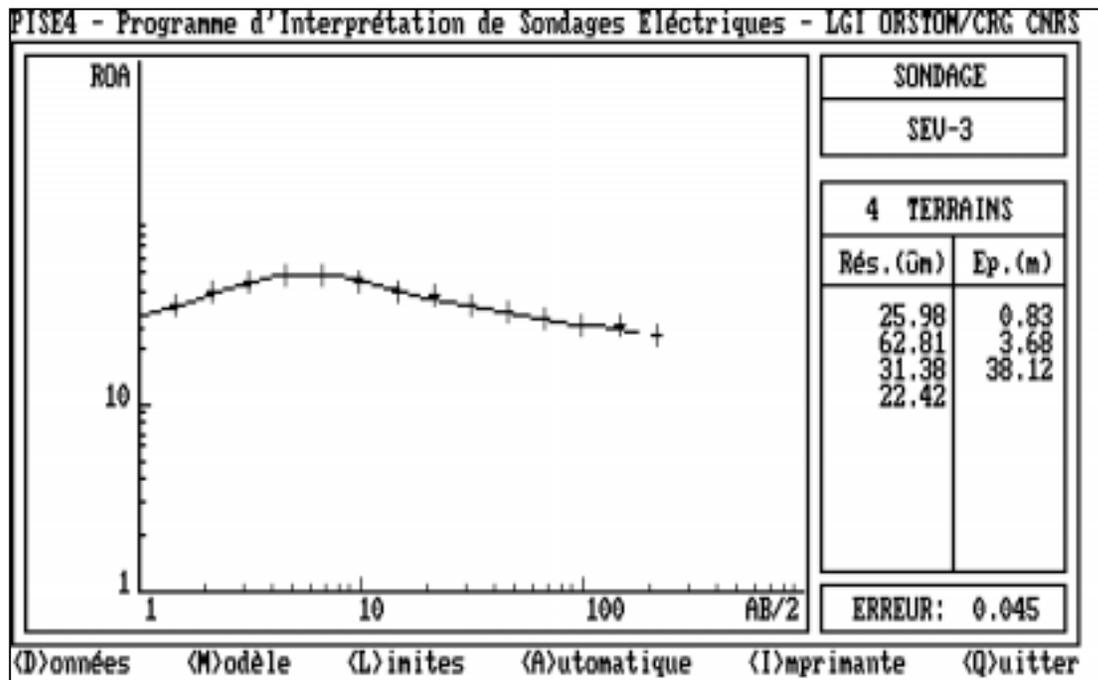
42.63

38.12



Areniscas
con
conglomerados
calcáreos

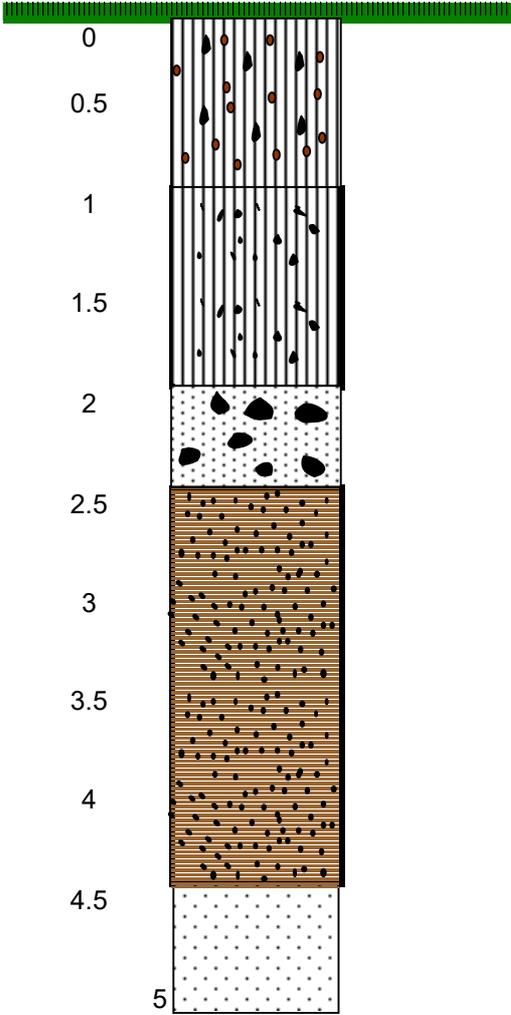
Limolitas



COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE ATAHUALPA.

Profundidades

Características



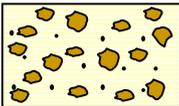
Suelo húmico, con material orgánico

Arena limosa con estratificación de cantos rodados

Gravas con cantos de 2 cm-10 cm

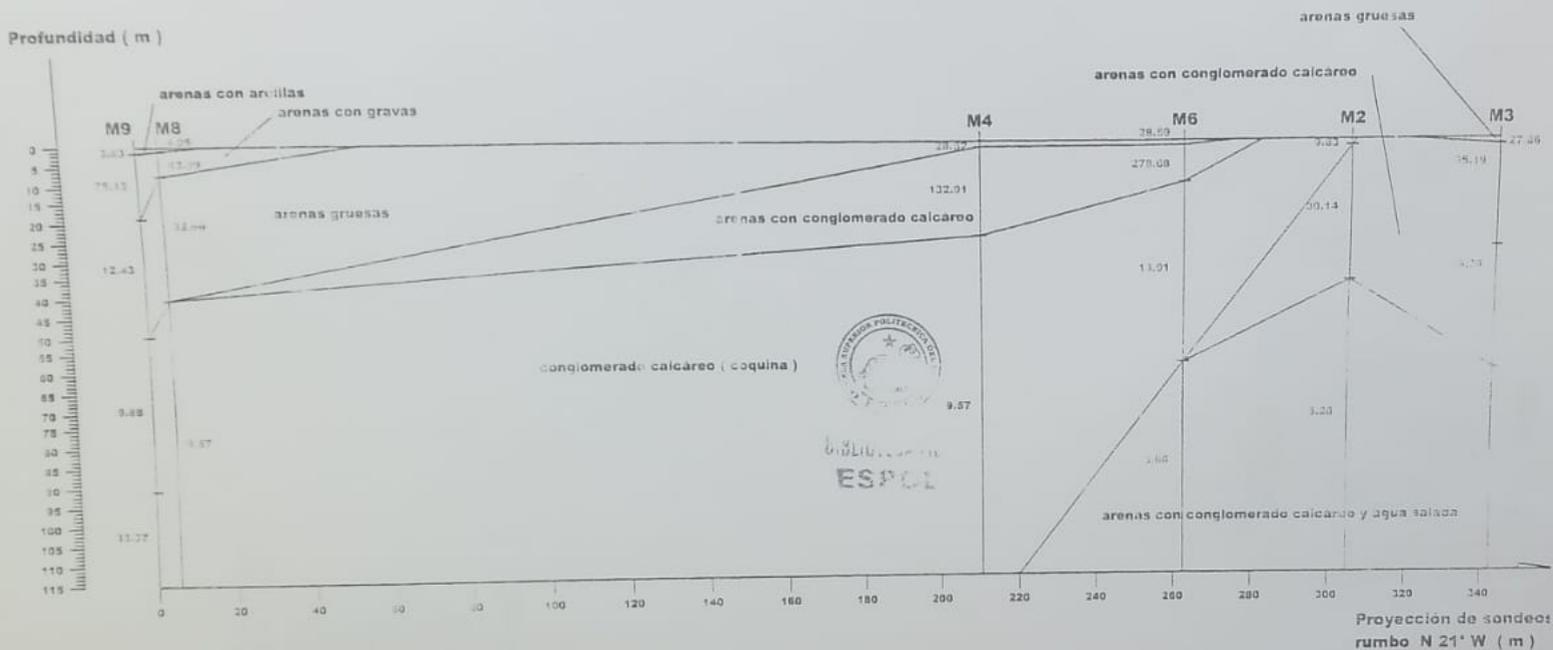
Arenisca grano fino, color café claro con patinas de óxido de Fe
Poco consolidada

Arenisca consolidada



9.4. Cortes geoelectrónicos.

CORTE GEOELÉCTRICO EN EL MUSEO REAL ALTO



33.57

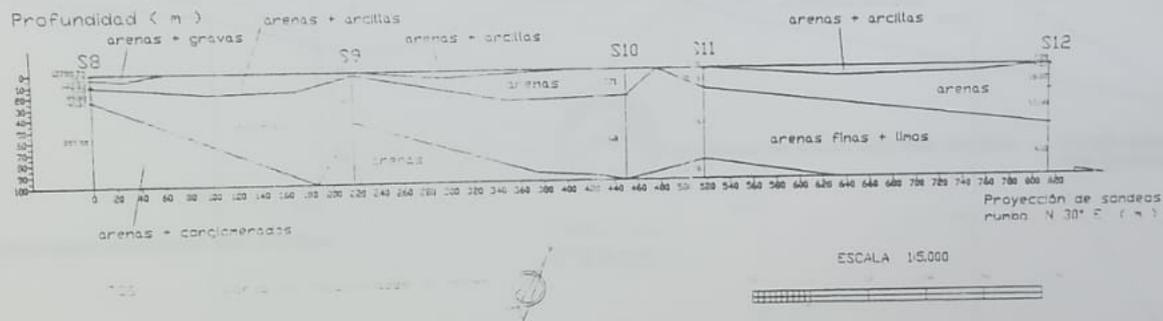
Valores de resistividades en ohm-m



ESCALA 1:1.500



CORTE GEOLÓGICO PROSPERIDAD



BIBLIOTECA FIC I
ESPOL



CORTE GEOELÉCTRICO EN PROYECTO DE ABONO ORGÁNICO ESPOL

