ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Elaboración de un Plan de Explotación de Aguas Subterráneas en una Zona de la Península de Santa Elena, mediante la Interpretación de Métodos Resistivos"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MINAS

Presentada Por:

Samantha Tamara Jiménez Oyola

GUAYAQUIL- ECUADOR

2008

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

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

Al Director de mi tesis, MSc. Byron Fun-Sang por la gran ayuda brindada en la elaboración de este proyecto de tesis, además de sus valiosos consejos.

Al Dr. Paúl Carrión por su gestión en esta investigación y por permitirme formar parte de un gran grupo de trabajo.

Al Ing. Jorge Calle por su paciencia, comprensión y colaboración.

Al proyecto SENACYT, PIC-221: Exploración y Elaboración de un Inventario de Acuíferos Subterráneos en la Península de Santa Elena mediante utilización de Métodos Eléctricos y Reinterpretación de Diagrafías del Campo Ancón.

A los proyectos ECU/8/026 y RLA/8/041: Caracterización de los Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena y Caracterización Isotópica de los Acuíferos Costeros, proyectos que se desarrollan con el auspicio del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Al Dr. Luís Toro y al Dr. Tomás Vitvar, Expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica.

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

A la Ing. Paola Romero, al Ing. Juan Carlos Pindo, al Ing. Javier Montalván, a mis amigos y a todos quienes de una u otra forma me han ayudado para llevar adelante este propósito.

DEDICATORIA

A mi familia

A mis maestros

A mis amigos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

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

MSc. Byron Fun-Sang
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Calle
VOCAL

Dr. Púl Carrión M.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Samantha Jiménez Oyola.

RESUMEN

Este trabajo de investigación pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes de los sectores rurales de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás, planteando soluciones a los problemas de abastecimiento de agua, ya que este recurso es limitado y además resulta poco accesible debido al elevado costo que se tiene que pagar por m^3 de agua, teniendo en cuenta que los pobladores de estos sectores son personas de escasos recursos económicos.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Provincia Santa Elena, perteneciente a la Región Costa del Ecuador, esta zona forma parte de un cinturón micro climático de tipo árido seco, las temperaturas medias anuales oscilan entre 17ºC-35ºC. Los índices pluviométricos generales determinan que la evaporación es superior a la precipitación en balances anuales cerrados, con valores de evaporación que oscilan.entre 1600 y 1700 mm y valores de precipitación inferiores a los 450 mm. No obstante, estudios geomorfológicos revelan que la topografía de estas zonas posibilita la recolección de agua de precipitación, la cual al seguir su curso a través de la red hidrográfica local va alimentando los acuíferos subterráneos y permitiendo la captación de agua mediante albarradas.Este trabajo de investigación se basa principalmente en el en el análisis de la información hidrogeológica, geológica, topográfica y campañas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados en la zona de influencia del proyecto.

Se realizaron 57 SEV en la zona de estudio con lo que se pudieron estimar las reservas. Además se realizó una propuesta de plan de explotación con el que se pretende extraer el líquido de una manera sostenible.

Este trabajo de investigación forma parte de los siguientes proyectos:

- Proyecto SENACYT, PIC-221: Exploración y Elaboración de un Inventario de Acuíferos Subterráneos en la Península de Santa Elena mediante utilización de Métodos Eléctricos y Reinterpretación de Diagrafías del Campo Ancón, cuyo director es el MSc. Byron Fun-Sang Robinson, docente de la FICT.

- Proyectos Internacionales: ECU/8/041, Caracterización de los Acuíferos Costeros de la PSE y RLA/8/041, Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros, proyectos que son auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica, del Programa del Organismo de las Naciones Unidas, y dirigidos por el Dr. Paúl Carrión Mero, profesor de la FICT, en el marco de un convenio de ESPOL con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica.

Cabe indicar que también se tuvo la colaboración del Programa Desarrollo de la Península de Santa Elena, cuyo director es el MPA. Kléber Morán.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……………………………………………...………………………VII
ÍNDICE GENERAL…………………………………………………………………IX
ABREVIATURAS…………………………………………………………….XII
ÍNDICE DE FIGURAS………………………………………………………XIII
ÍNDICE DE TABLAS……………………………………………………..XV
INDICE DE MAPAS…………………………………………………………XVI

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES……………….…………………………………...1
1.1. Preámbulo….……………………………………………………………1
1.2. Planteamiento del Problema………………..……………………..…3
1.3. Delimitación de la Zona de Estudio…………………..……………6
1.4. Estudios Previos Realizados en la Zona de Interés………………...8
1.5. Metodología de Investigación……………………………………...10
1.6. Objetivos…………………………………………………………..12

CAPÍTULO 2

2. BASE TEÓRICA…………………………………………………..….13
2.1. Conceptos Básicos de Hidrogeología…………………………… 13
2.1.1 Ciclo Hidrogeológico…………………………………………..13
2.1.2 Fases del Ciclo Hidrogeológico………………………………13
2.2. Acuíferos…………………………..……………………………..17
2.2.1 Generalidades…………………………………………………17

2.2.2 Características Geológicas de los Acuíferos……………………….18
2.2.3 Tipos de Acuíferos……………………………………………………….20
2.3 Exploración Hidrogeológica……………………………………………23
2.3.1 Métodos Eléctricos de Prospección………………………..........23
2.3.2 Sondeo Eléctrico Vertical ……………………………………………….26
2.3.3 Criterios para la Interpretación de los Resultados……………….30

CAPÍTULO 3

3. INFORMACIÓN………………………………..…………………33
3.1 Situación Geográfica..……………………………………………...33
3.2 Geología……………………………………………………………..34
3.3 Geomorfología……………………………………………………….40
3.4 Red Hidrográfica…………………………………………………….40
3.5 Climatología………………………………………………………….45
3.6 Hidrogeología………………………………………………………..49
3.7 Usos de agua………………………………………………………..51

CAPÍTULO 4

4. TRABAJO DE CAMPO……………………..…………………………53
4.1 Inventario de Pozos…………………………………………………53
4.2 Selección de Sitios Probables de Almacenamiento de Agua.….…56
4.3 Campañas de Prospección Geofísica Superficial………………….58

CAPÍTULO 5

5 TRABAJO DE OFICINA……………………………………………63
5.1 Procesamiento de los SEV…………………………………………63
5.2 Elaboración de Mapas de Geo-resistividad…………………………66
5.3 Elaboración de Modelos Estáticos Tridimensionales de los Acuíferos Identificados………………………………………………75

CAPÍTULO 6

6 INTERPRETACIÓN…………………………………………………………77

6.1 Sondeos Eléctricos Verticales………………………………………..77

6.2 Estimación de Reservas………………………………………………85

6.3 Propuesta de un Plan de Explotación de Aguas Subterráneas…..86

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…………………..………………89

Conclusiones…………………………………………………….……………...89

Recomendaciones……………………………………..………………….91

BIBLIOGRAFÍA…………………………………………………………………93

ABREVIATURAS

mm	Milímetro
m	Metro
m^3	Metros cúbicos
K	Kilómetros
K^2	Kilómetros cuadrados
USD	Dólares americanos
Ω	ohmio
ρ	Resistividad
ρ_a	Resistividad aparente
R	Resistencia
I	Intensidad de corriente
ΔV	Diferencia de potencial
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical
ºC	Grados centígrados
T	Transmisividad
K	Permeabilidad o Gradiente Hidráulico
P	Porosidad
V_H	Velocidad horizontal
CE	Conductividad Eléctrica
PSE	Península de Santa Elena

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Cobertura de agua potable en la PSE.. …………………………..….4
Fig. 2.1 Ciclo del agua……………………….……………………………...14
Fig. 2.2 Tipos de acuíferos..21
Fig. 2.3. Esquema de mediciones para métodos eléctricos De prospección……………………………………………….…25
Fig. 2.4 Esquema de colocación de electrodos en el dispositivo Schlumberger……………………………………………………28
Fig. 2.5 Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas, minerales y químicos.................................32
Fig. 3.1 Ubicación del área de estudio……….………………………...33
Fig. 3.2 Cuencas Hidrográficas de la PSE………………………………. 41
Fig. 3.3 Clasificación de las zonas climáticas de la PSE……………..…46
Fig. 3.4 Mapa de isotermas del Ecuador…………………………….…47
Fig. 3.5 Mapa de evapotranspiración del Ecuador..……………………..47
Fig. 3.6 Mapa de isoyetas de precipitación de la PSE…………………..48
Fig. 4.1 Ubicación de las áreas con gran potencial acuífero…………...56
Fig. 5.1 Panel de ingreso de los datos del programa WINSEV.............64
Fig. 5.2 Curva generadas por el programa WINSEV……………………65
Fig. 5.3 Presentación de los resultados de WINSEV……………………65
Fig. 5.4 Modelo Conceptual de Distribución de Geo-Resistividades…....68
Fig. 5.5 Modelo Conceptual de Patrón de Escorrentía………………...….69

Fig. 5.6 Corte Horizontal del Modelo de Resistividades
Para una profundidad de 50m, Área 1…………………………..…..70
Fig. 5.7 Corte Horizontal del Modelo de Resistividades
Para una profundidad de 60m, Área 1………………………….…...71
Fig. 5.8 Corte Vertical del Modelo de Resistividades. Área 1…………....71
Fig. 5.9 Delimitación de Potenciales Cuerpos de Agua. Área 2………....72
Fig. 5.10 Corte Vertical del Modelo de Resistividades. Área 2……………72
Fig. 5.11 Vista en planta de la Variación de los Cuerpos de
Agua. Área3…………………………………………………………73
Fig. 5.12 Mapa Promedio de Resistividad. Área 4…………………………74
Fig. 5.13 Delimitación de Potenciales Cuerpos de Agua. Área 5………...74
Fig. 5.14 Identificación de Cuerpos de Agua. Área 4……………………...75
Fig. 5.15 Identificación de Cuerpos de Agua. Área 2……………………...76
Fig. 5.16 Identificación de Cuerpos de Agua. Área 3……………………...76
Fig. 6.1 Ubicación de Sitios Favorables para la Construcción de
Nuevos Pozos……………………………………………………..87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Inventario de pozos en la zona de estudio……………………...54
Tabla 4.2 Áreas potenciales para la adquisición de datos de SEV………57
Tabla 4.3 Coordenadas de los SEV realizados…………………………….58
Tabla 6.1 Resultados de los SEV- Área 1…………………………………..78
Tabla 6.2 Resultados de los SEV- Área 2…………………………………..79
Tabla 6.3 Resultados de los SEV- Área 3…………………………………..80
Tabla 6.4 Resultados de los SEV- Área 4…………………………………..81
Tabla 6.5 Resultados de los SEV- Área 5…………………………………..82
Tabla 6.6 Resultados de los SEV- Área 6…………………………………..83
Tabla 6.7 Resultados de los SEV- Área 7…………………………………..84
Tabla 6.8 Cálculo de Reservas…………..…………………………………..86

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa de Delimitación del Área de Estudio. …………………………………..…….7

Mapa de los Sectores Poblados Ubicados en el Área de Estudio…………….5

Mapa de la Geología de la Zona de Estudio…………..……………………....36

Mapa de Redes Hidrográficas…………………………………………...….44

Mapa de Ubicación de Pozos Inventariados....................................... ….….55

Mapa de Ubicación de los SEV………………………..................................60

CAPÍTULO 1.

1. ANTECEDENTES

1.1. Preámbulo.

El problema que afronta la Península de Santa Elena desde hace muchos años ha sido la carencia de agua potable. Este desabastecimiento se agravó con el severo racionamiento de agua, recurso que era distribuido por la Empresa ECAPAG a través de un acueducto que funcionaba en forma precaria. Debido a la deficiencia del servicio que brindaba ECAPAG el 90% de la población peninsular se veía obligada a abastecerse del líquido vital por medio de carros tanqueros que cobraban hasta 2 dólares por metro cúbico de agua.

Una vez que CEDEGÉ desarrolló el Proyecto Trasvase Daule-Santa Elena, permitió que se posibilite la entrega de agua, para que sea potabilizada para el consumo de de la población, sin embargo, existen Comunas aisladas que no cuentan con este servicio y que se ven obligadas a continuar comprando agua a los carros tanqueros, pagando entre USD 0.80 y USD 1.00 por m^3.

Foto 1.1 Habitante de la comuna Río Verde abasteciéndose de agua mediante un carro tanquero. (Jiménez S., 2007).

En la actualidad el agua potable se distribuye en gran parte de la Península de Santa Elena a través de AGUAPEN, El sistema de agua potable empezó a operar en el año 2000, y ha producido hasta la fecha catorce millones de metros cúbicos de agua potable. Este servicio se brinda las 24 horas del día, sin embargo las áreas rurales en su mayoría no son cubiertas con este servicio.

Debido a lo antes mencionado, se justifica la realización de una campaña de prospección y exploración de las aguas subterráneas en estas zonas aisladas de la Península de Santa Elena y sobre todo realizar un inventario, indicando la ubicación, cantidad y calidad de las aguas almacenadas, ya que posteriormente con financiamiento adicional será posible perforar los pozos correspondientes y construir una pequeña red de distribución de agua para las comunas en mención. Esto va a permitir que los habitantes de estos sectores puedan utilizar sus tierras para la agricultura, cría de animales y sobre todo les va a permitir llevar una mejor vida.

1.2. Planteamiento del Problema.

Uno de los problemas más graves que puede afrontar una sociedad es no disponer del recurso agua, situación que viven muchas comunas de la Península de Santa Elena.

En el ámbito urbano cantonal, aproximadamente el 78% de las viviendas disponen de agua entubada y existen zonas que reciben el agua a través de piletas o bocatomas.

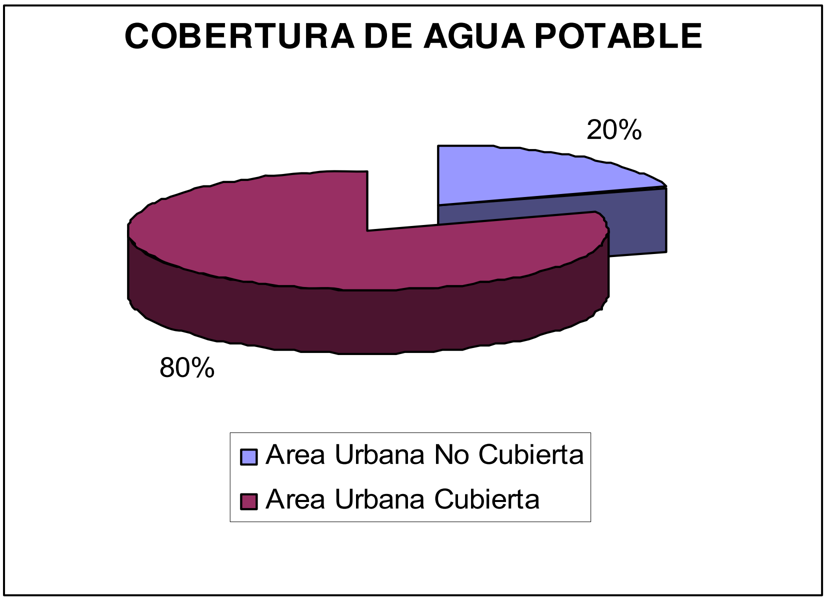


Fig. 1.1 Cobertura de agua potable en la Península de Santa Elena. (Fuente: Municipio de Salinas)

Entre enero y septiembre de 1991, los habitantes de la Península de Santa Elena se vieron severamente afectados por enfermedades relacionadas con el agua, debido a esto, las asociaciones Rotary de Ecuador y EEUU, participaron en la elaboración y el desarrollo del programa Salud para estos pueblos, con el que pretendían dotar a la población de agua limpia para beber y de saneamiento. Según la Organización Panamericana de la Salud (*OPS)*, el suministro de agua potable y el empleo de técnicas apropiadas de saneamiento, constituyen uno de los medios más eficaces y económicos para prevenir las epidemias de enfermedades relacionadas con el agua.

Justificativos para la realización del presente trabajo:

- La Península de Santa Elena es una zona de tipo árido seco, los índices pluviométricos generales determinan que la evaporación es superior a la precipitación. Por lo tanto se tiene un déficit significativo del recurso agua en estas regiones, además no cuenta con fuentes de agua superficial, ya que los ríos son intermitentes.

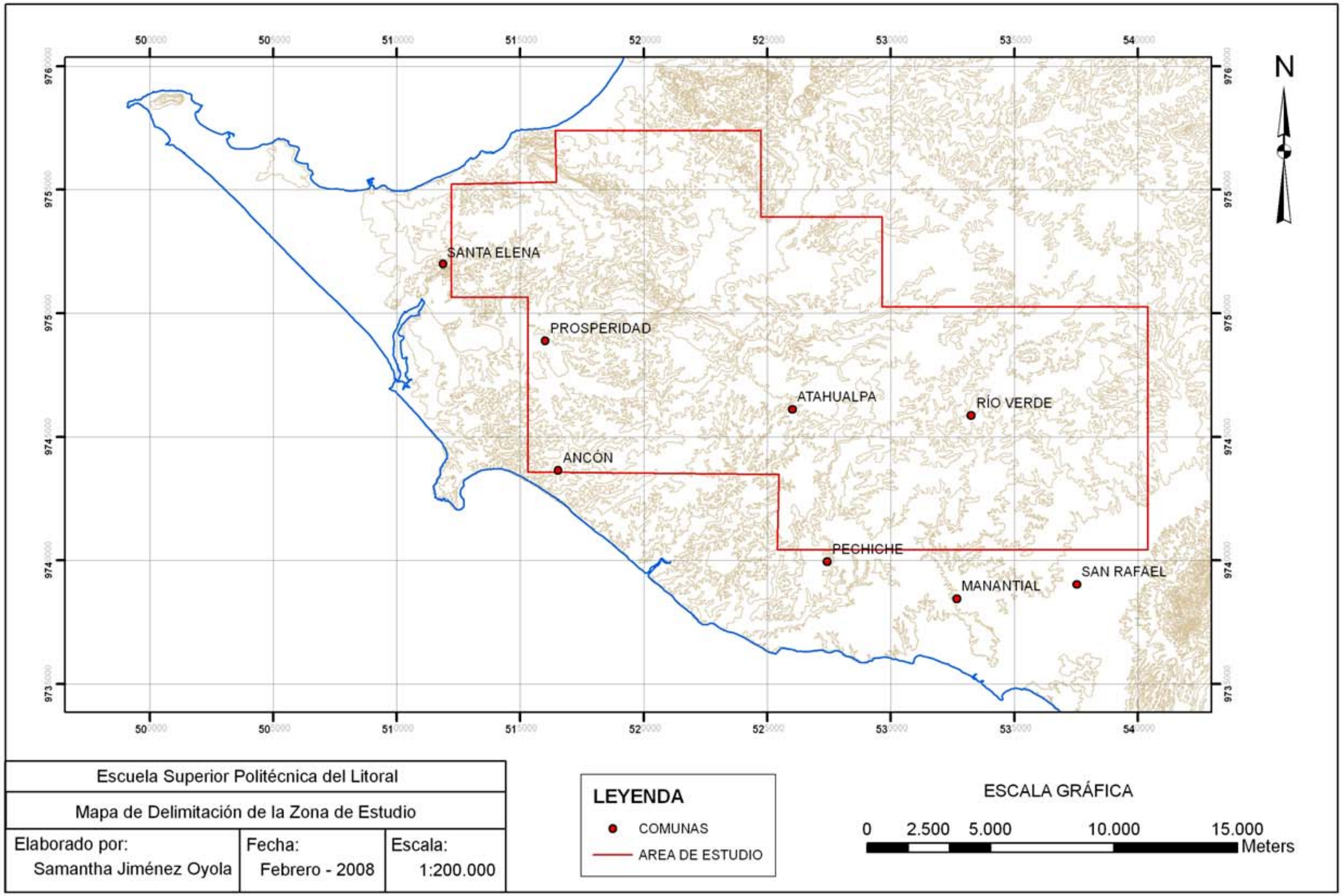
- La empresa encargada de la potabilización y abastecimiento de agua en la Península de Santa Elena es AGUAPEN, ésta brinda servicio de agua potable las 24 horas del día, sin embargo las áreas rurales en su mayoría no son cubiertas con este servicio. Las comunidades rurales se abastecen por tanqueros, derivaciones del acueducto o por pozos someros con agua de calidad dura o salobre. Las comunas que no cuentan con el servicio de abastecimiento, se ven obligadas a pagar excesivas cantidades de dinero por un m^3 de agua, recurso que es distribuido de manera irregular por carros tanqueros. Los habitantes de estas comunas son gente de muy escasos recursos económicos, y en su mayor parte trabajan en la pesca y en la cría de animales domésticos y no tienen acceso a la educación, a servicios básicos mínimos, ni a los servicios estatales de salud.

1.3. Delimitación de la zona de estudio.

El área de estudio se encuentra localizada en la región costera de Ecuador, dentro de la Provincia Santa Elena, zona perteneciente a las hojas: 3487-III Salinas, 3487-II Zapotal, 3486-I Chanduy, 3486-IV Santo Tomás. La región se encuentra comprendida entre los meridianos 81º01 y 80º15 de Longitud Oeste y entre los paralelos 2º30 y 2º10 de Latitud Sur.

El presente estudio constituye la realización de campañas de prospección de geofísica superficial, mediante la aplicación de métodos eléctricos en los sectores de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomas, (ver mapa 1.1), en una superficie aproximada de 300 km^2, cuya finalidad es el abastecimiento de agua dulce a las zonas rurales de los sectores antes mencionados.

Ver **Mapa 1.1** Delimitación de la zona de estudio (Jiménez S., 2008)



Mapa 1.1 Delimitación de la Zona de Estudio

1.4. Estudios previos realizados en la zona de interés.

La gran ventaja para la ejecución de este proyecto, ha sido contar con información de estudios previos de exploración geofísica realizados en la zona, por lo cual se tiene una amplia base de datos, lo que permitirá llevar a delante un estudio de esta naturaleza.

Entre los estudios realizados anteriormente tenemos:

- "Estudio geoeléctrico y planeamiento de explotación de aguas subterráneas en el sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche" el cual fue dirigido por el Dr. Paúl Carrión Mero y realizado por la doctorante Paola Romero Crespo.

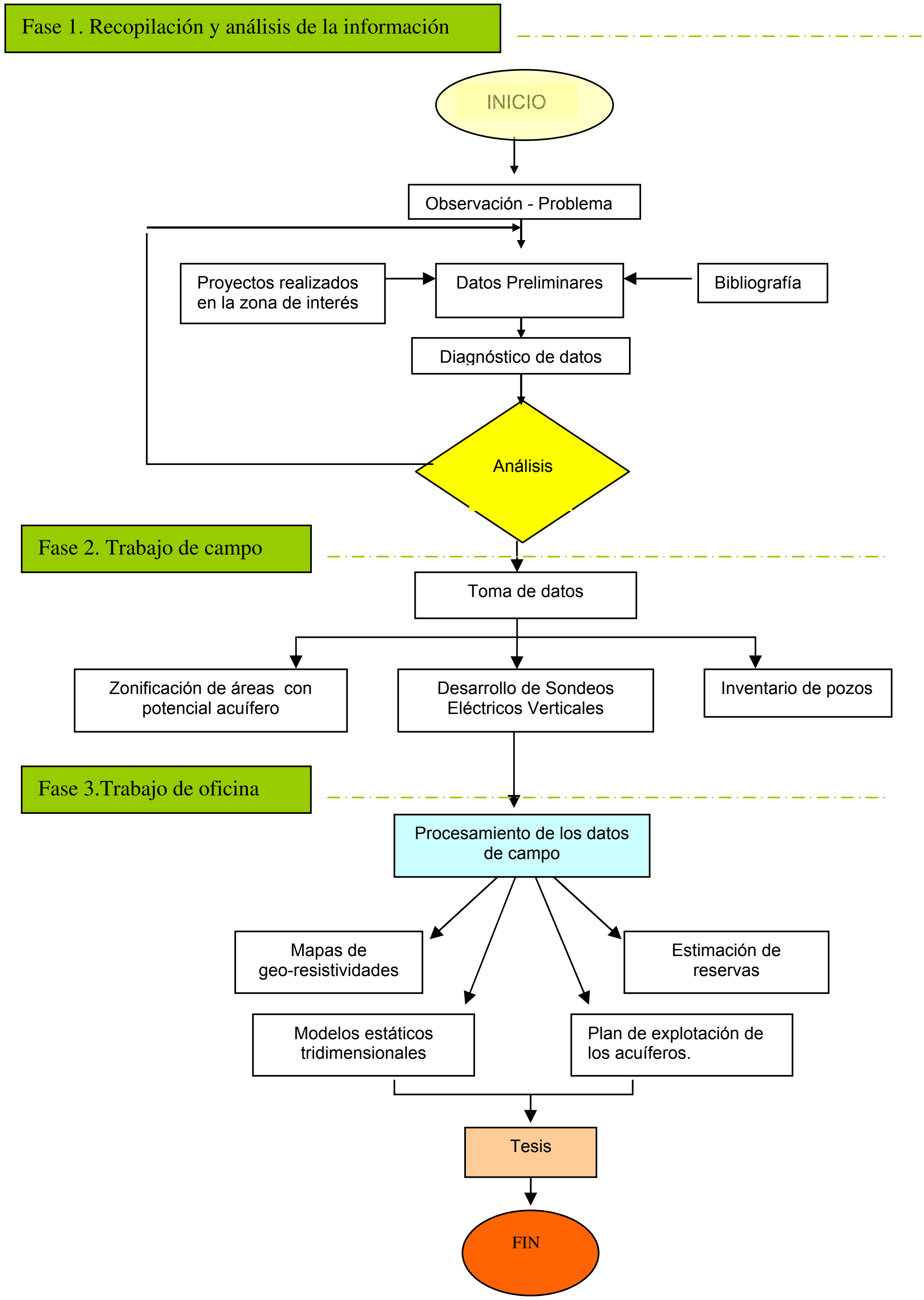
- Los Estudios realizados por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) y Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGÉ).

- 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.

- 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.

- 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.

1.5 Metodología de investigación.



La metodología de investigación se detalla a continuación:

1. Recopilación y análisis de la información: estudios previos, topografía, geología, geomorfología, hidrogeología, prospecciones geoeléctricas, información meteorológica, inventario de pozos existentes, etc.

2. Trabajos de campo: mediante la utilización de la información recopilada y la comprobación de la geología en el campo se determinarán las zonas con potencial acuífero para posteriormente iniciar la campaña de adquisición de datos de geo-resistividad.

3. Trabajos de oficina: Tratamiento de la información recopilada en el campo y procesada mediante la aplicación de sistemas expertos de interpretación hidrogeológica, localización de los acuíferos subterráneos potenciales, elaboración de mapas de geo-resistividad, elaboración de modelos estáticos tridimensionales de los acuíferos identificados y estimación de reservas.

1.6 Objetivos

El objetivo general es diseñar una propuesta para un plan de explotación de aguas subterráneas en la Península de Santa Elena, para la planificación de la explotación racional de este recurso.

Entre los objetivos específicos tenemos:

- Desarrollar una red de sondeos eléctricos verticales en la zona de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomas (P. Santa Elena).

- Elaborar mapas de geo-resistividad para la caracterización geoeléctrica de los acuíferos subterráneos

- Elaborar un inventario de acuíferos subterráneos indicando: ubicación, cantidad y calidad del agua almacenada.

- Constituir un aporte de investigación para futuros trabajos que se realicen en la Península de Santa Elena.

CAPÍTULO 2.

2. BASE TEÓRICA

1.5. Conceptos Básicos de hidrogeología[1].

2.1.1 Ciclo Hidrogeológico.

Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (ver figura 2.1).

2.1.2 Fases del Ciclo Hidrogeológico.

Como se trata de un ciclo podríamos considerar todas sus fases comenzando desde cualquier punto, pero lo más intuitivo puede ser comenzar en la Precipitación y considerar qué caminos puede seguir el agua que cae sobre los continentes.

[1]. *Basado en la publicación: El Ciclo Hidrológico, J. Sánchez San Román.*

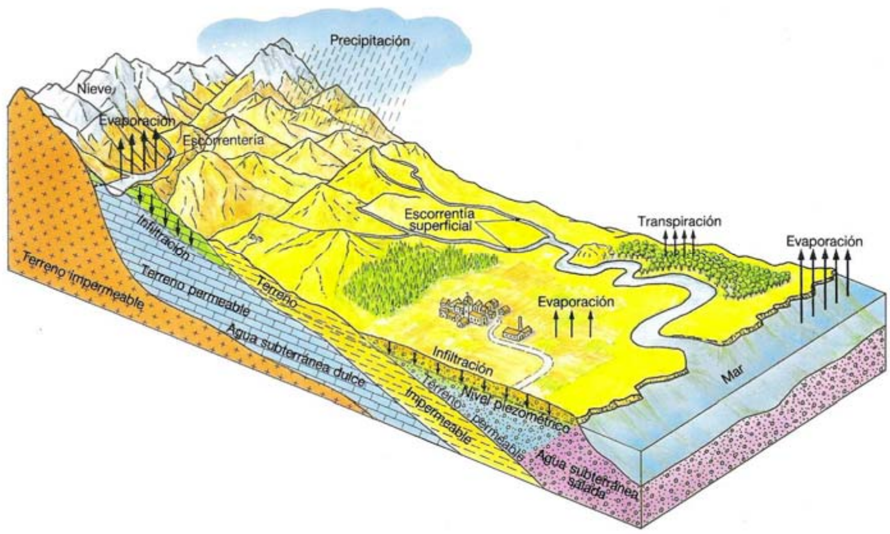


Fig. 2.1 Ciclo del Agua. Fuente: Tecnología Básica de la Recarga Artificial de Acuíferos. Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

a) Evaporación: Una parte se evapora desde la superficie del suelo ("charcos") o si ha quedado retenida sobre las hojas de los árboles. A este último fenómeno se le denomina "interceptación", y en lluvias de corta duración sobre zonas de bosque puede devolver a la atmósfera una gran parte del agua precipitada sin haber tocado el suelo.

b) Infiltración: El agua infiltrada puede, a su vez, seguir estos caminos:

- *Evaporación.* Se evapora desde el suelo húmedo, sin relación con la posible vegetación.
- *Transpiración.* Las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su crecimiento y la mayor parte es transpirada.

La suma de evaporación y transpiración se estudia conjuntamente: es la evapotranspiración.

- Escorrentía subsuperficial o hipodérmica, ("interflow"), que tras un corto recorrido lateral antes de llegar a la superficie freática acaba saliendo a la superficie.
- Si no es evaporada ni atrapada por las raíces, la gravedad continuará llevándola hacia abajo, hasta la superficie freática, allí aún puede ser atrapada por las raíces de las plantas "freatofitas" (chopos, álamos,...), de raíces muy profundas, y que a diferencia de otras plantas, buscan el agua del medio saturado.
- Finalmente, el agua restante da lugar a la escorrentía subterránea.

c) Escorrentía superficial: El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente. Aún le pueden suceder varias cosas:

- Parte es evaporada desde la superficie de ríos, lagos y embalses.
- Otra parte puede quedar retenida como nieve o hielo o en lagos o embalses. (“Escorrentía superficial diferida”).
- Finalmente una parte importante es la escorrentía superficial rápida que sigue su camino hacia el mar.

Otros conceptos fundamentales son:

- Escorrentía Directa, la que llega a los cauces superficiales en un periodo de tiempo corto precipitación, y que normalmente engloba la escorrentía superficial y la subsuperficial. Son imposibles de distinguir: una gran parte de lo que parece escorrentía superficial (por el aumento de los caudales que sigue a las precipitaciones) ha estado infiltrada subsuperficialmente.
- Escorrentía Básica, la que alimenta los cauces superficiales en los estiajes, durante los periodos sin precipitaciones, concepto que engloba la Escorrentía Subterránea y la superficial diferida.

2.2 Acuíferos.

2.2.1 Generalidades.

El agua subterránea representa una fracción importante del agua presente en los continentes, con un volumen mucho más importante que el del agua retenida en lagos o circulante, aunque menor que el de los glaciares [2].

Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie (ejemplo. lluvia) percola y se confina, donde a veces lentamente se mueve subterráneamente al océano por ríos subterráneos [2].

Los acuíferos pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados, por rocas plutónicas masivas fracturadas, por estratos de areniscas porosas, por bancos de calizas carstificadas y por otros muchos contextos geológicos diferentes. Aunque se pueden hacer cálculos sumamente útiles partiendo de las hipótesis simplificadoras de los acuíferos son uniformes en su composición, horizontales y tabulares, el hidrogeólogo debe tener siempre presente que existe, sin embargo, una variedad casi infinita de formas y condiciones hidrogeológicas posibles [2]..

2.2.2 Características Geológicas de los Acuíferos[3].

Como es evidente, 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 de l 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 1L/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.

Los espacios huecos o intersticios que presentan las rocas que componen los acuíferos, pueden ser poros o vacíos intergranulares, como en el caso de las rocas formadas por depósitos sedimentarios granulares (grava y arena)

---

[3]. *Basado en el Manual para la Interpretación de los Ensayos de Bombeo.*

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).

Las formaciones geológicas que constituyen acuíferos pueden incluirse en uno de estos dos grupos.

I. Acuíferos formados por depósitos no consolidados.
II. 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)

2.2.3 Tipos de acuíferos

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

a) Acuíferos libres, freáticos o no confinados.
b) Acuíferos confinados o artesianos
c) Acuíferos semiconfinados (leaky aquifers)
d) Acuíferos semilibres.

Los acuíferos libres son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel a que ella se eleva, respecto a otro de referencia, nivel freático. Está formado en general por un estrato permeable parcialmente saturado de agua que yace sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable. En la mayoría de los casos existe solamente un nivel freático, pero en algunos casos, a causa de la presencia de acuicierres o acuitardos de pequeñas dimensiones relativas, pueden existir acuíferos que se denominan acuíferos colgados con niveles freáticos adicionales.

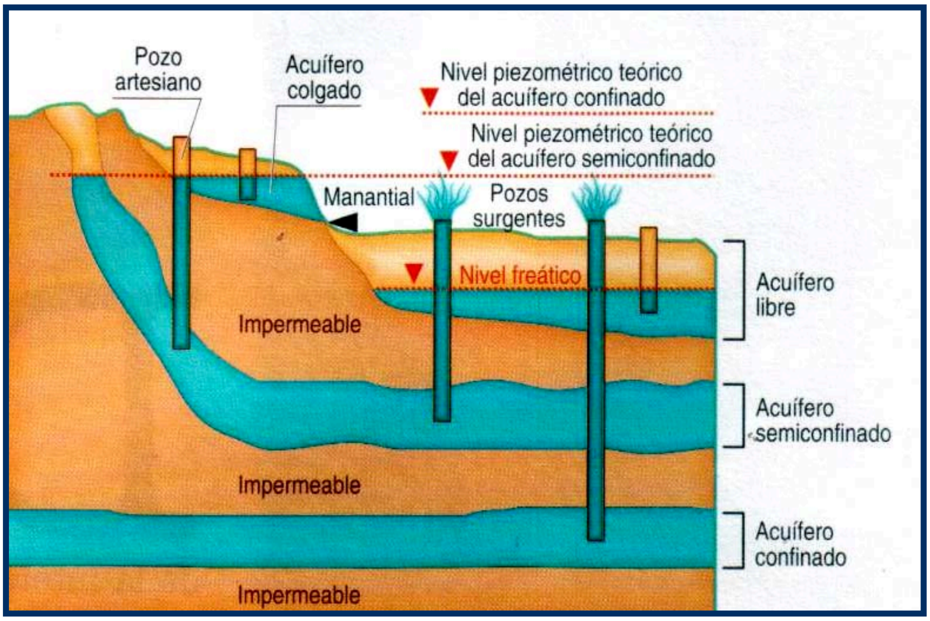


Fig. 2.2 Tipos de acuíferos. Fuente: Geología. Ed. Laberinto

En algunos acuíferos libres compuestos de partículas finas el drenaje por gravedad de los poros con frecuencia puede que no sea instantáneo y, en ese caso, el acuífero entrega el agua un cierto tiempo después de que el nivel freático baja en el mismo. A este tipo de acuífero se les denomina libres con entrega retardada.

En los pozos perforados en este tipo de acuífero, el agua se eleva hasta el nivel freático. Los acuíferos confinados o artesianos son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior). En estos acuíferos, el agua está sometida, en general, a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo en ellos, el agua se eleva por encima de la parte superior (techo) del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del nivel del terreno natural, por lo que un pozo perforado en el lugar fluirá solo, como si fuera un manantial. Los acuíferos confinados se nombran también artesianos, a causa de que en la región francesa de Artois fue el primer lugar donde se perforaron pozos profundos en acuíferos confinados, alrededor del año 1750. Originalmente, el término artesiano se aplicaba solamente a los pozos fluyentes, pero en la actualidad, la palabra se aplica a cualquier pozo perforado en un acuífero confinado.

2.3 Exploración Hidrogeológica.

2.3.1 Métodos eléctricos de prospección[4].

El reconocimiento mediante Resistividad Eléctrica constituye una Investigación Geofísica Exploratoria, en la cual las mediciones de la resistividad de la tierra se realizan en la superficie del terreno. Este método esta siendo empleado en exploraciones de Agua Subterránea casi desde los años 1930.

Las mediciones de resistividad se efectúan, utilizando cuatro electrodos colocados en el terreno. Luego se aplica una corriente. La resistividad aparente se calcula a través de coeficientes propios de cada arreglo de electrodos, interviniendo además las lecturas de diferencia de potencial e intensidad de la corriente.

---

[4]. *Basado en la publicación: Sondeos Eléctricos Verticales, Asdrúbal O.*

Estos métodos utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas de las rocas y minerales, y más especialmente su resistividad. Generalmente, emplean un campo artificial eléctrico creado en la superficie por el paso de una corriente en el subsuelo.

Se emplean como métodos de reconocimiento y de detalle, sobre todo en prospección de aguas subterráneas. Los mapas de isoresistividad permiten definir los límites del acuífero, el nivel del agua en los acuíferos, la presencia de agua salada y permite la cartografía de las unidades litológicas.

Los métodos eléctricos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1. En los métodos ***inductivos*** se trabajan con corrientes inducidas en el subsuelo a partir de frecuencias relativamente altas (entre 100 Hz y 1 MHz).

2. En el caso de los métodos ***conductivos***, se introduce en el subsuelo una corriente continua o de baja frecuencia (hasta unos 15 Hz), mediante electrodos.

Los métodos eléctricos de prospección geofísica comprenden variedad de técnicas que emplean tanto fuentes naturales como artificiales.

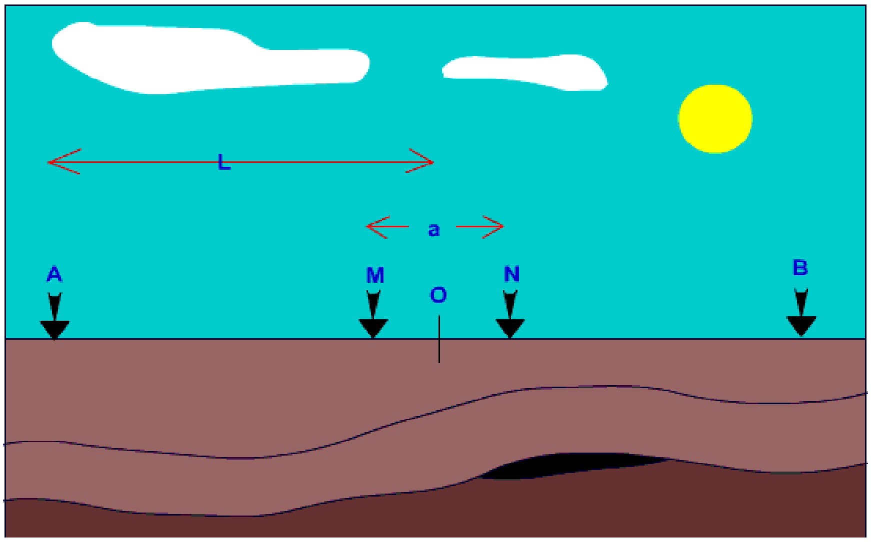


Fig. 2.3 Esquema de mediciones para métodos eléctricos de prospección. Fuente: Asdrúbal O., 2003, Escuela de Geología, Minas y Geofísica en Venezuela

2.3.2 Sondeo Eléctrico Vertical[5]

El sondeo eléctrico vertical es una de las modalidades de prospección con corriente continua. Consiste en una serie de determinaciones de resistividades aparentes, 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 entre los electrodos de recepción, se denomina sondeo eléctrico vertical.

La finalidad del sondeo eléctrico vertical es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado (corte geoeléctrico). La mayor eficacia del método corresponde al caso en que los SEV se efectúan sobre un terreno compuesto por capas lateralmente homogéneas en lo que respecta a la resistividad.

El principal problema que se plantea en el método de exploración eléctrica mediante SEV es el de hallar las

---

[5]. *Basado en el folleto Interpretación de Curvas de Sondeos Eléctricos Verticales, E. N. KALENOV.*

variaciones de la profundidad del horizonte eléctrico de apoyo en la zona que se estudia. El objeto de esta investigación estriba en obtener una idea

sobre el comportamiento de la superficie del horizonte de apoyo que ayude a resolver diversos problemas geológicos (zonas tectónicos, localización de estructuras sepultadas, etc). También con la ayuda de los SEV se logra estudiar el cambio lateral de las facies en grandes extensiones de terreno.

Dispositivo Schlumberger

En el dispositivo Schlumberger suele tomarse como norma (por razones teóricas) que la distancia MN debe ser a lo sumo una quinta parte del segmento AB. Las curvas de campo del dispositivo Schlumberger se muestran superiores a las del Wenner. La razón de ello es que en el primero permanecen fijos los electrodos de potencial, de modo que el efecto superficial donde están enclavados permanece el mismo en toda la curva hasta el próximo empalme.

Son muy empleados los dispositivos en los que 4 electrodos A, M, N, B (A y B de emisión de corriente, y M y N de potencial) se encuentran, en este orden sobre una misma recta. Si además, los 4 electrodos se disponen simétricamente respecto de un centro “O”, tendremos un dispositivo simétrico.

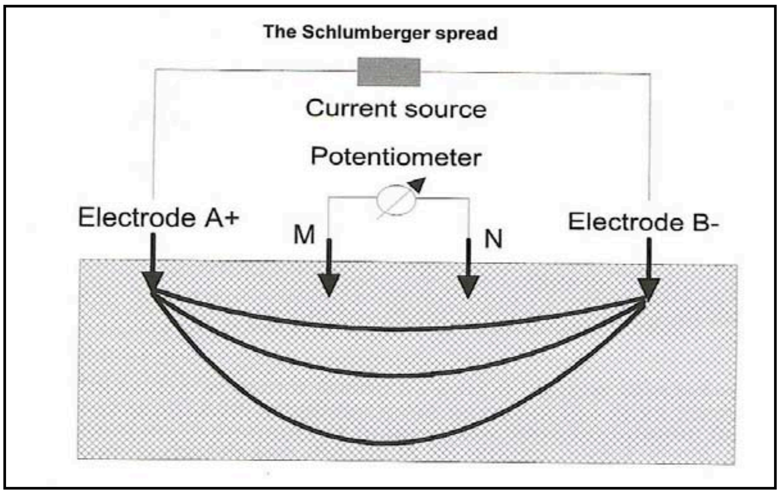


Fig. 2.4 Esquema de colocación de electrodos en el dispositivo Schlumberger. Fuente: Manual de Winsev 6.1

El más eficaz y usado de estos dispositivos es el Schlumberger. Se trata en realidad de un dispositivo límite que aunque irrealizable prácticamente de modo riguroso, presenta grandes ventajas teóricas, y puede llevarse a la práctica con suficiente aproximación. La idea de Schlumberger es hacer que la distancia "a" que separa los electrodos MN tienda a 0.

La idea Schlumberger consiste, en utilizar una distancia MN=a muy corta, de tal modo que pueda tomarse como válida la ecuación del límite. Los desarrollos teóricos se establecen suponiendo que lo que se mide es realmente el campo E, el cual en la práctica, se toma igual a V/a. Es decir que, si bien en la teoría matemática se emplea la fórmula del límite en las observaciones de campo la que se utiliza realmente es la de ra, por lo cual el error que se comete al emplear esta expresión es sólo el que proviene de despreciar el término a2/4. Este error es muy pequeño. En las mediciones de campo suele tomarse la norma de que MN es menor o igual que AB/5. como MN es igual a a y 2L es igual a AB, el error relativo será igual al 4%. para MN igual a AB/5.

Normalmente, MN es mucho más pequeño respecto de AB, y el error será muy reducido. Por otra parte, la precisión de las mediciones geoeléctricas de campo están muy limitadas por heterogeneidades irrelevantes del terreno (ruido geológico), por lo que no puede exigírsele gran exactitud.

En resumen, se puede decir que el dispositivo Schlumberger es un dispositivo lineal simétrico en el que la distancia MN es muy pequeña (todo lo más una quinta parte de la distancia AB). En ciertos casos el electrodo B se lleva a gran a distancia de los demás de modo que no influya sobre el valor V observado. Se tiene entonces el dispositivo Schlumberger asimétrico, o medio

Schlumberger cuyo coeficiente de dispositivo será lógicamente el doble del usual.

2.3.3 Criterios para la Interpretación de los Resultados

Las campañas de Sondeos Eléctricos Verticales tienen como finalidad determinar la estructura del subsuelo en la zona de estudio. La denominación de interpretación de las curvas de SEV abarca un extenso y complejo trabajo. Con este nombre se conoce el proceso de correlación de las capas del corte geoeléctrico con la estratificación. El trabajo de interpretación, que se realiza no sólo después de terminada la exploración de campo, sino durante la misma, se puede dividir esquemáticamente en tres etapas [5]:

1. Estudio del corte geoeléctrico.

2. Interpretación Cualitativa de las curvas de SEV.

3. Interpretación Cuantitativa de las curvas de SEV.

Las etapas citadas se encuentran estrechamente relacionadas entre sí y con frecuencia se solapan y complementan unas con otras, componiendo un eslabón único en el proceso de interpretación geológica.

La interpretación cualitativa es una etapa muy importante en el trabajo y habitualmente precede a la interpretación cuantitativa. En dicha etapa, se estudia cuidadosamente todo el material de la exploración eléctrica, analizando el aspecto de las curvas, sus particularidades y cambios. Se estudian los resultados de los sondeos mecánicos y las diagrafías eléctricas hechas en ellos, se determinan los horizontes de apoyo; se calculan los parámetros de las capas eléctricas y los cambios de los diversos tipos de curvas de SEV, perfiles y mapas de resistividades aparentes y conductancias, de la variación de la posición de los puntos extremales de las curvas se SEV, y otros perfiles y mapas que nos den una idea general cualitativa de la geología del terreno explorado. Los resultados de este análisis de las curvas de SEV junto con otros datos del terreno nos sirven para llegar, de modo definitivo, a una interpretación cuantitativa. También suelen ayudar en esta interpretación cuantitativa de las curvas de SEV, los planos del relieve de la superficie del horizonte de apoyo geoeléctrico y los cortes geoeléctricos.

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

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.

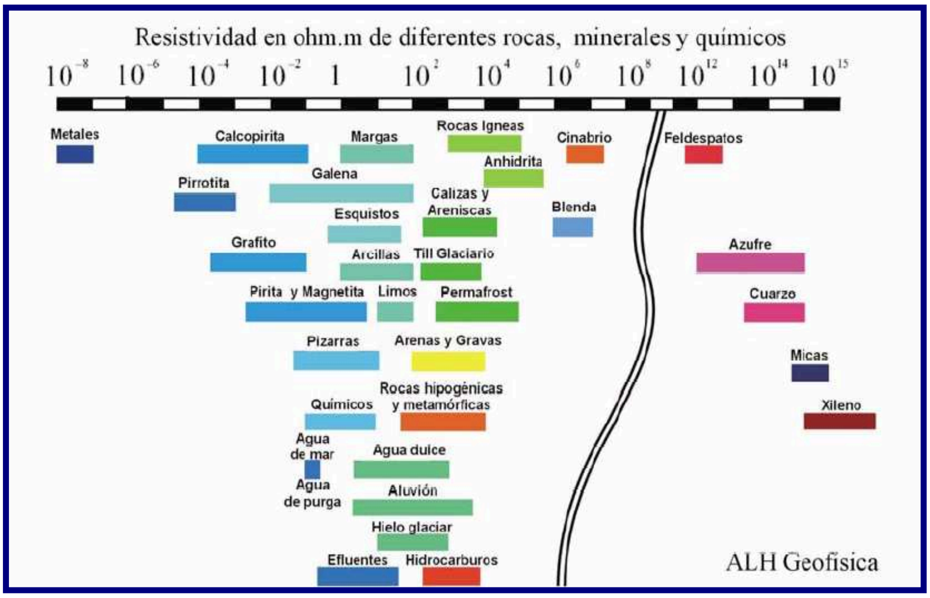


Fig. 2.5 Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas, minerales y químicos. Fuente: Hidalgo López A.

CAPÍTULO 3.

3. INFORMACIÓN

3.1 Situación Geográfica.

La Provincia Santa Elena se encuentra localizada en la región costera de Ecuador. Limita al norte con la Provincia de Manabí, al este y sur con la Provincia del Guayas y al oeste con el Océano Pacífico.

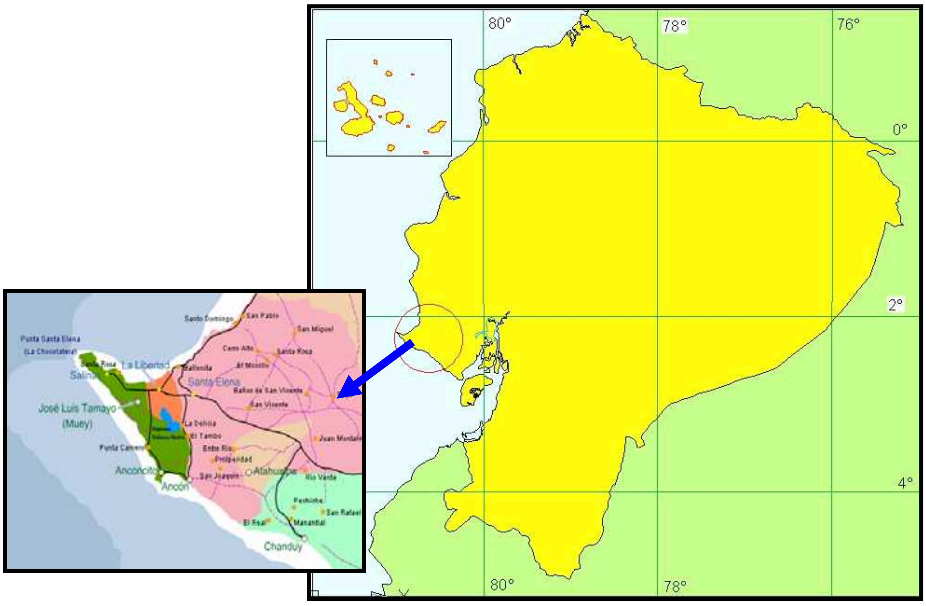


Fig. 3.1 Ubicación del área de estudio (Jiménez S.,2008)

Los sectores poblados más importantes localizados en el área de estudio son: El Tambo, Prosperidad, Ancón, Atahualpa, Chapucal, Recinto Río Verde, Pechiche. Manantial.

En el **Mapa 3.1** se puede observar la ubicación de los sectores poblados más importantes localizados en el área de estudio.

3.2 Geología

En el área de estudio se pueden apreciar las siguientes formaciones:

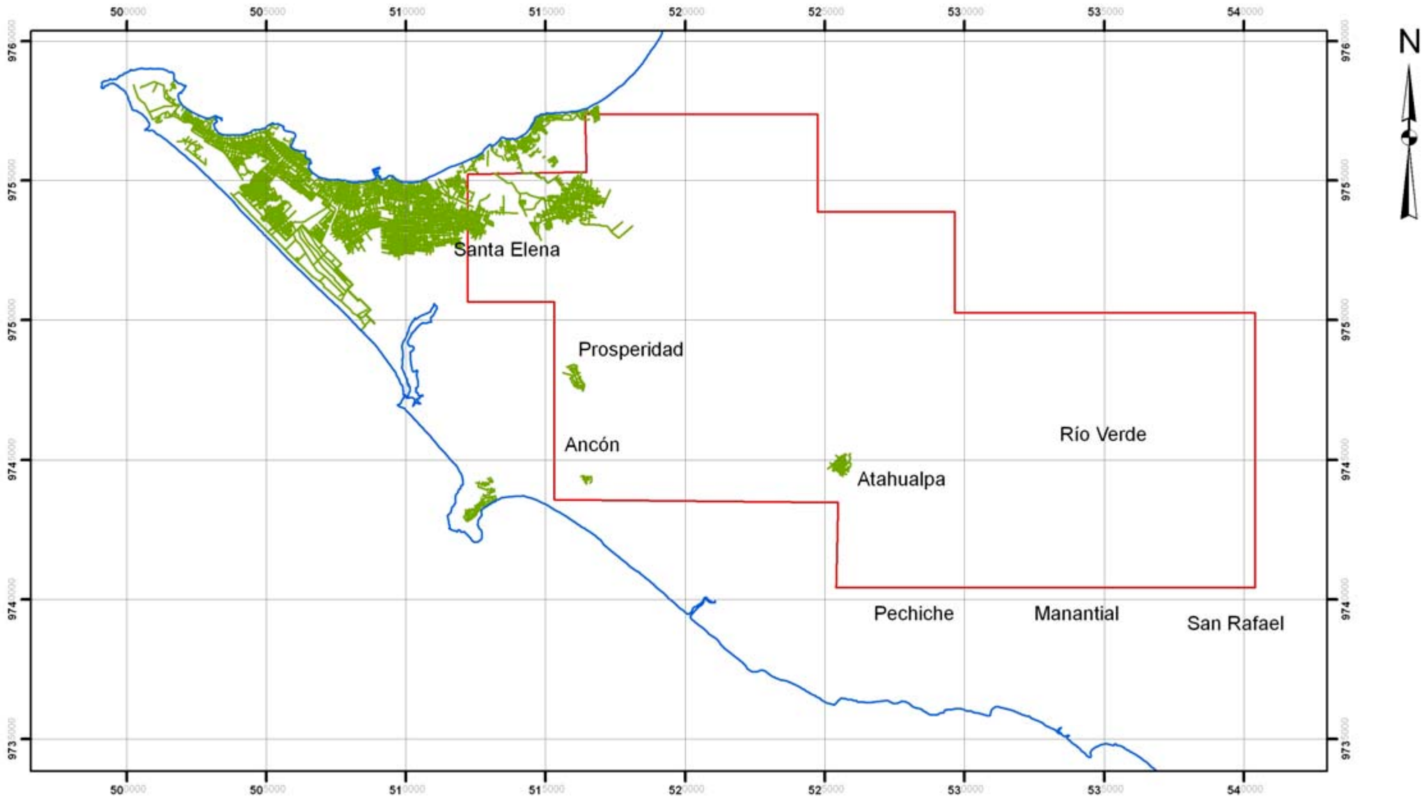
- Formación Estancia G. Azúcar. Pce.
- Formación Socorro. E3S.
- Formación Socorro, Wild Flysch.
- Depósitos Aluviales. QA2.
- Formación Tablazo. QT.

Siendo predominante la formación Tablazo.

Ver **mapa 3.2** Geología de la Península de Santa Elena.

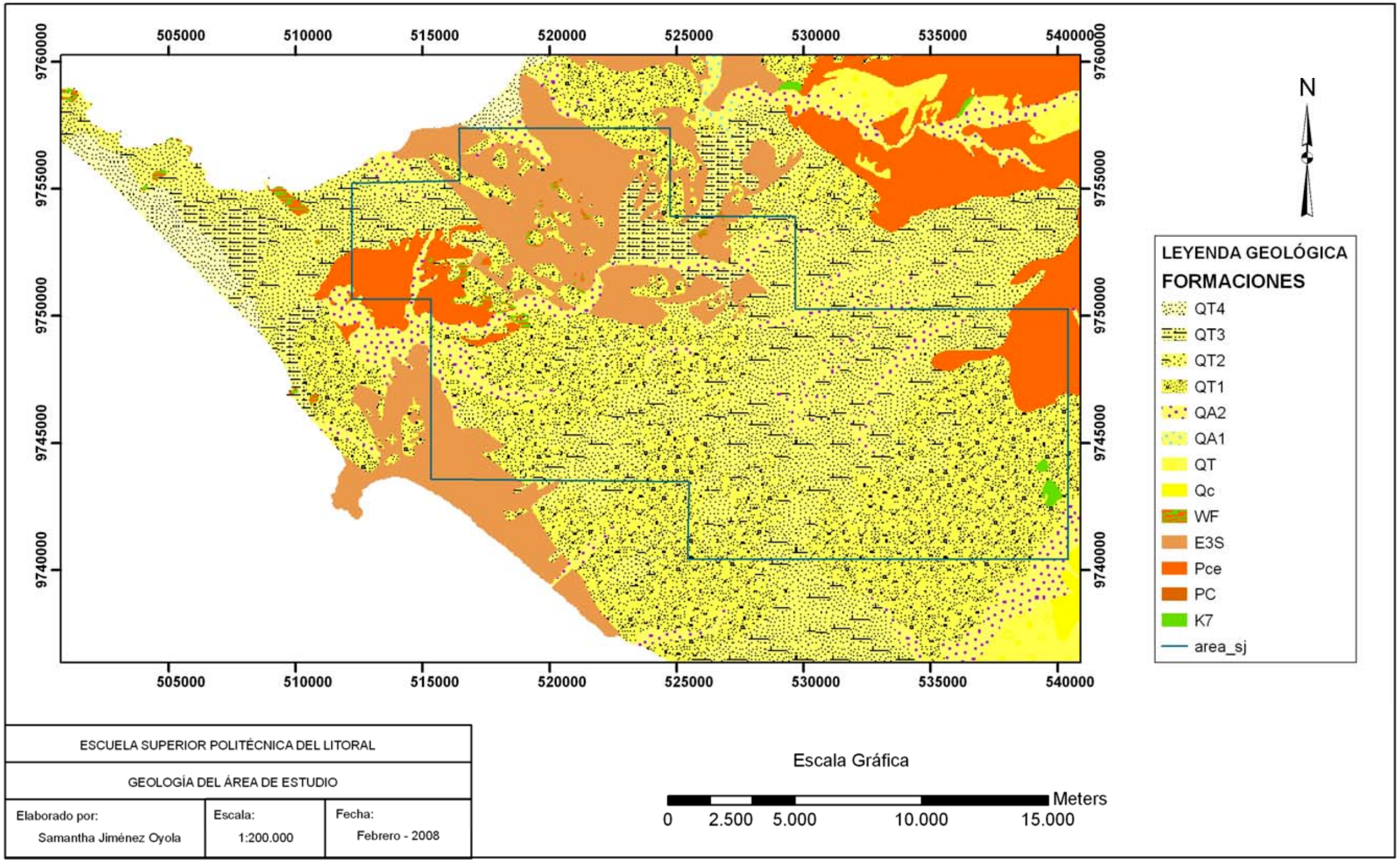
Formación Estancia G. Azúcar.

El nombre de Serie Azúcar conformado por las capas Estancia, Azúcar y Engabao, fue dado por los geólogos de la IEPC (en Small,



Escuela Superior Politécnica del Litoral		
Sectores Poblados en la Zona de Estudio		
Elaborado por: Samantha Jiménez Oyola	Fecha: Febrero - 2008	Escala: 1:200.000

Mapa 3.1 Sectores Poblados en la Zona de Estudio



Mapa 3.2 Geología del Área de Estudio.
Base Cartográfica Proyecto VLIR-ESPOL

1962) a las rocas que afloran en los alrededores del poblado y cerro del mismo nombre. Esta denominación fue modificada por los geólogos de las compañías petroleras California Ecuador, AEOL y MEC quienes las definieron como el Grupo Azúcar, constituido por las formaciones Estancia, Chanduy y Engabao (Marchant, 1958). Según Small (1962) en el subsuelo del campo petrolero de Ancón son equivalentes en el mismo orden las formaciones San José, Areniscas Atlanta y Passage Beds; sin embargo Benítez (1995) considera que los "Passage beds" pertenecen más bien al Grupo Ancón. El Grupo Azúcar se lo encuentra estratigráficamente sobre la Fm. Santa Elena y bajo el Grupo Ancón. El Grupo Azúcar aflora exclusivamente en el Alto Santa Elena principalmente en los cerros de la Estancia, Chanduy, Azúcar y Saya; aunque los mejores afloramientos se encuentran en los acantilados situados al Oeste de la población de Playas, razón por la cual ha sido objeto de varios estudios en los últimos años (Moreno, 1983, 1984; Benítez, 1984). La subdivisión de las rocas del Grupo Azúcar en tres formaciones se basa solamente en la presencia de una facies conglomerática (Fm. Chanduy) en medio de facies areno-arcillosas (Fm. Estancia abajo y Fm. Engabao arriba), que es el criterio utilizado por Small (1962). Sin embargo, los contactos entre las tres formaciones son transicionales y las litologias muy parecidas e indistinguibles si faltan los conglomerados (Canfield, 1966; Bristow y Hoffstetter, 1977). Además, las tres formaciones presentan conjuntos fosilíferos similares de foraminíferos aglutinados. Esto unido a su frecuente plegamiento y fallamiento ha generado mucha confusión en la asignación de nombres formacionales a rocas del Grupo Azúcar sobre todo en el subsuelo.

Formación Socorro.

Se trata de un flysch marino de ambiente profundo, resultante de la imbricación de conos de deyección a lo largo de talud de fosa (Labrousse, 1985). Por su carácter caótico, ha sido definido como wild flysch, en cuya base se distinguen facies correspondientes a flujos de granos, que equivales al Miembro Clay PebbleBed de otros autores y que además en una matriz arcillosa se encuentran engolfados bloques exóticos de variado tamaño y litología.

Depósitos aluviales.

Representa los depósitos fluviales recientes, emplazados en los bordes de los ríos. Presentan materiales no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas, productos que han sido acarreados desde las zonas de aporte y que con su acumulación han dado lugar a la formación de terrazas aluviales, causes y meandros abandonados.

Se presentan de modo discordante sobre el resto de las formaciones anteriores, en la zona de estudio los depósitos aluviales están presentes en los causes de los drenajes, siendo los más extensos los localizados en los ríos: Tambo, Verde y Salado.

Formación Tablazo.

La Fm. Tablazo reposa en discordancia sobre las rocas cretáceo-paleógenas deformadas de la Península Santa Elena. Está constituida por coquinas y areniscas calcáreas localmente conglomeráticas que afloran extensamente en posición subhorizontal en alturas que fluctúan entre los 50 y 100 m. Su potencia es variable y no sobrepasa las varias decenas de metros. Su edad es Pleistoceno según Hoffstetter (1948 en Bristow y Hoffstetter,1977); la base es atribuida con reservas al Pleistoceno Inferior (Tablazo T-1) en base a la fauna de moluscos mientras que el tope es Pleistoceno superior datado radiométricamente (Tablazo Bajo). Asociado al tope de la Fm. Tablazo ya emergido se encuentra una rica fauna de mamíferos del pleistoceno que ha sido estudiada por Hoffstetter. El paleoambiente de depósito es sublitoral a litoral.

3.3 Geomorfología

La zona estudiada en la Península de Santa Elena corresponde a una morfología denominada meseta costera. En general geomorfológicamente la zona presenta un relieve bajo, constituida en su totalidad por tablazos. Los accidentes que sobresalen en topografía, pertenecen a bloques exóticos del Wild Flysch.

También se observan colinas medias bajas, muy accidentadas por el trabajo de erosión a las que han sido sometidas. Estas colinas pertenecen a la Formación Azúcar.

La formación Socorro también presente en la zona, se caracteriza por la presencia de colinas muy bajas, pobremente disecadas.

3.4 Red Hidrográfica

El sistema hidrográfico de la Península comprende los ríos que nacen en la referida cordillera Chongón-Colonche, se dirigen hacia el oeste o hacia el sur, teniendo el curso más largo y de mayor caudal, y los del oeste que fluyen desde las elevaciones costeras, tales como los cerros de Saya, Chanduy, Estancia, etc, que tienen recorrido relativamente corto

Fig. 3.2 Cuencas hidrográficas de la Península de Santa Elena (PSE). Fuente: Informe Evaluación hidrogeológica Preliminar de la PSE. (OIEA), 2007.

A continuación se describen las características del sistema fluvial, agrupando los cursos de agua de acuerdo con la diferenciación antes establecida y utilizando, para definir su régimen de escorrentía, los siguientes conceptos:

- Régimen Permanente: Escurrimiento durante todo el año, excepto en los años extremadamente secos.
- Régimen Intermitente: Escurrimiento en temporada de lluvias.
- Régimen Efímero: Ríos que permanecen secos y escurren gracias a una tormenta localizada en su cuenca

En la zona de estudio se encuentran las siguientes cuencas hidrográficas: río Grande, río Salado, río La Seca, río Zapotal. A continuación se describen las características de algunas de las cuencas antes mencionadas.

Cuenca	***Área (Km2)***	***Régimen***
Grande	161.29	Intermitente
Zapotal	1050.80	Efímero
Salado	310.71	Efímero

Las subcuencas más importantes son: río Verde, río Engabao y el río El Tambo.

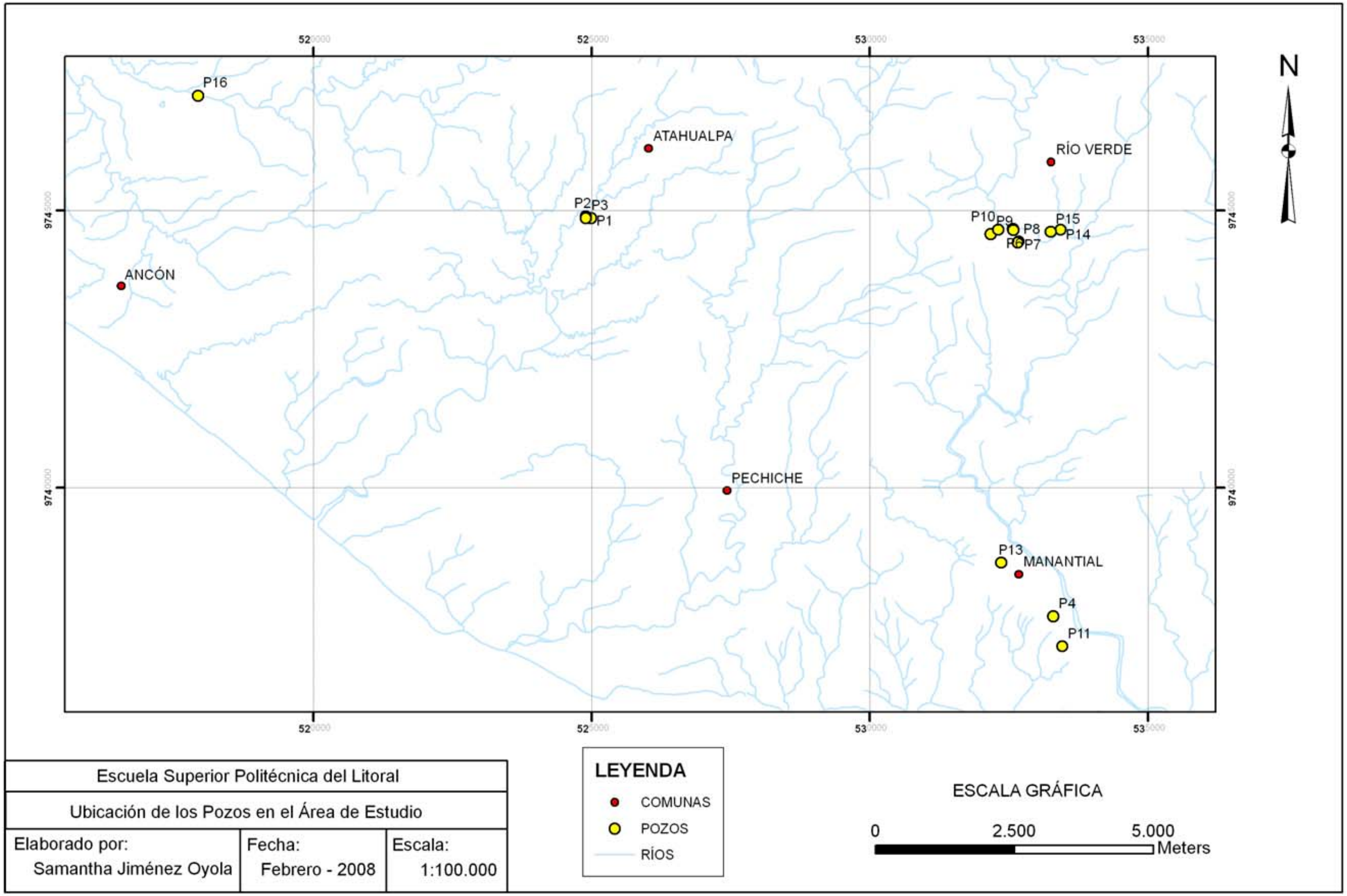
Subcuenca hidrográfica del río El Tambo: es de 3° orden y, además su morfología es suave, presentando en los cauces de los ríos unas hondonadas de bajorrelieve, que pueden ser gestionadas y aprovechadas como zonas muy favorables para la captación de aguas superficiales en forma de albarradas.

Subcuenca hidrográfica del Río Verde: 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.

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.

Sellers (1965) basándose en precipitaciones estimativas de precipitación, escorrentía e infiltración, ha determinado el volumen de recarga para el área de los ríos de este sector (76.8 Km^2) equivalente a 1.3 x 10^6 m^3/ año.

Ver **mapa 3.3** Redes hidrográficas



Mapa 4.1 Ubicación de los Pozos en el Área de Estudio

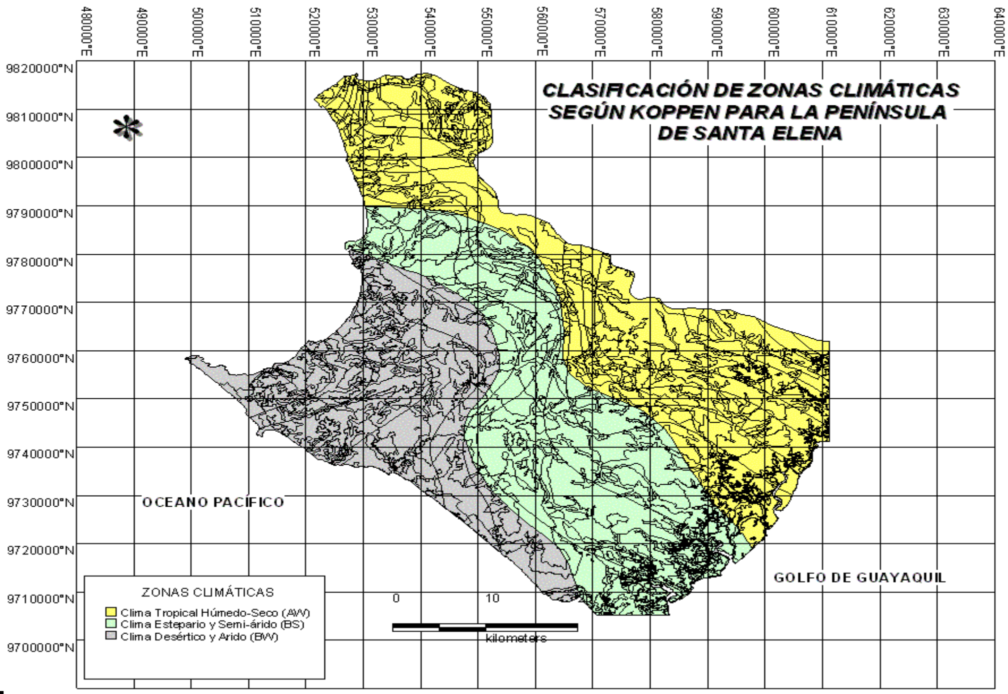
3.5 Climatología

Las características climáticas que imperan en la Península de Santa Elena difieren sensiblemente, pese a su proximidad geográfica, de las existentes en las áreas del río Guayas, en particular en lo que a lluvias se refiere.

Los factores principales que inciden sobre las condiciones climáticas son la corriente fría de Humboldt, la corriente cálida del Niño y los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical.

Entre los meses de Enero a Abril la corriente cálida del Niño se desplaza desde Panamá hacia el Sur a lo largo de la faja costera y en las proximidades de la Península de Santa Elena recibe la influencia de la corriente de Humboldt, originándose una corriente de aire húmedo que al desplazarse tierra adentro pierde humedad, principalmente por el efecto orográfico de las elevaciones montañosas. Los Andes ecuatorianos hacen de barrera, atenuándose el efecto de la zona de convergencia intertropical.

En la parte Norte de la zona hay que destacar la presencia de "garúas", que son una combinación de nubes bajas, neblinas y lloviznas, producidas por la corriente fría de Humboldt. En las áreas Nor-occidentales de la Península se detectan durante más de la mitad del año, pero desaparecen durante más de la mitad del año, pero desaparecen durante la principal época lluviosa, de diciembre a Abril, debido a la influencia de la corriente cálida del Niño que fluye hacia el sur. Estas "garúas" suponen un aporte de humedad para la vegetación. Las temperaturas se caracterizan por su constancia a lo largo del año. Los vientos dominantes son de componente sur.



i

g. 3.3 Clasificación de las zonas Climáticas de la Península de Santa Elena, según Koppen. Fuente: Proyecto SICA. Banco Mundial.

Las temperaturas de la Península oscilan entre los 17ºC y 35ºC, mientras que la evapotranspiración supera los 1200 mm, por lo que existe un déficit en el abastecimiento de agua.

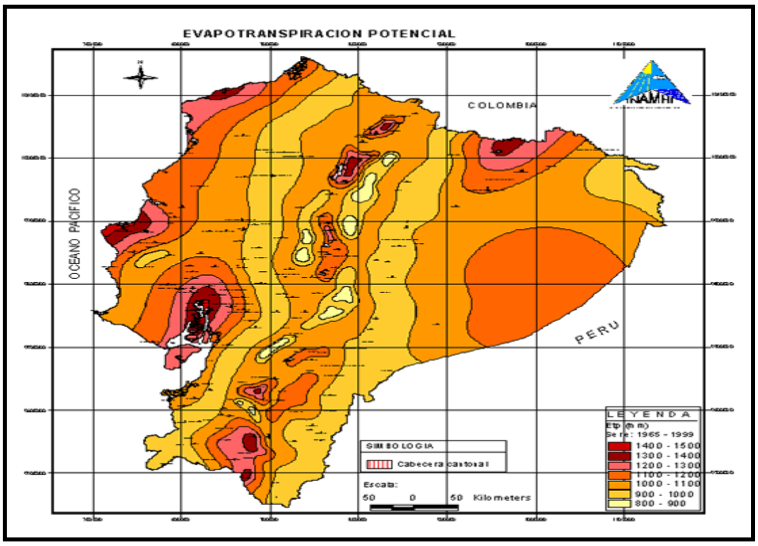


Fig. 3.4 Mapa de Isotermas del Ecuador. Fuente INAMHI

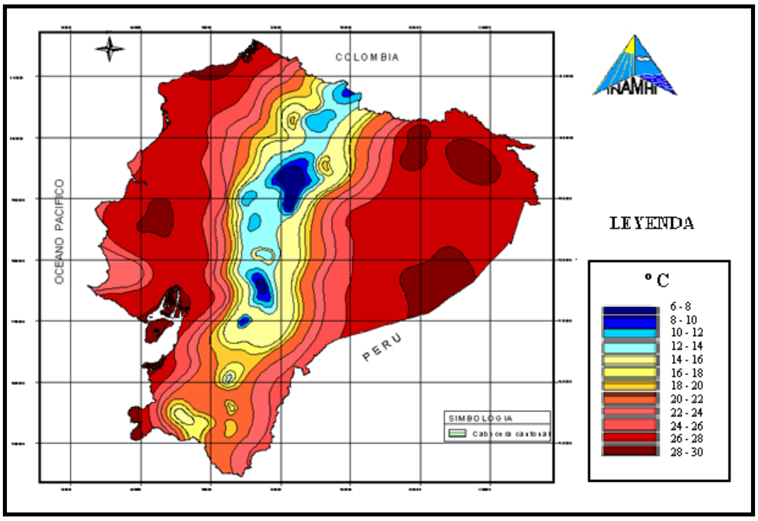


Fig. 3.5 Mapa de Evapotranspiración. Fuente INAMHI

La parte más árida es la correspondiente a la zona de Santa Elena - Salinas, donde se registra solamente 112 mm de promedio anual. Un 96% de esta precipitación se concentra en el período de Enero a Abril. Esta zona está formada por tierras bajas, llanas o ligeramente inferiores a los 100 mts.

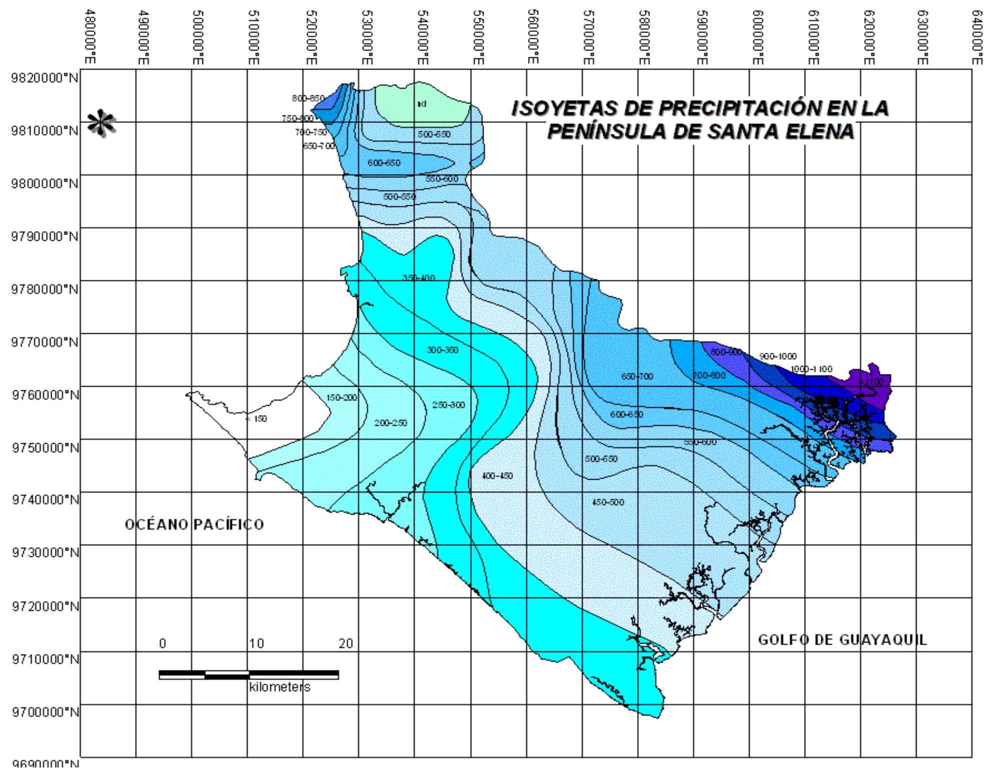


Fig. 3.6 Mapa de Isoyetas de Precipitación de la PSE. Fuente: Proyecto SICA. Banco Mundial.

Las características de las lluvias determinan los regímenes fluviales. Los ríos de la parte Noroeste son de régimen intermitente y fluyen casi todos los meses del año. Por el contrario, los de clima más seco son efímeros, dependiendo sus caudales de las precipitaciones de elevada intensidad.

3.6 Hidrogeología

La Formación Tablazos, 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.

Los depósitos aluviales están conformados por gravas y arenas, que corresponden a las zonas de recarga efectiva en el sector, es decir, que mediante estas áreas de terrazas aluviales se alimentan a las formaciones permeables como son la Formación Tablazo y el Grupo Azúcar.

Por otro lado, según datos de un inventario de pozos (ESPOL, 2001) realizado en la zona, han llevado a la conclusión que los estratos permeables que hidrogeológicamente aportan agua dulce a la comunidad son los depósitos aluviales y la formación 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 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 (depósitos aluviales) hacia el estrato permeable (Formación Tablazo).

3.7 Usos del agua

Puesto en marcha el Proyecto Trasvase Daule-Santa Elena, la agricultura tomo auge llegando a ser uno de los principales ingresos para las personas de la zona.

Los principales productos que se siembran son: tomate, pimiento, melón, sandía, guayaba, guanábana, mango, papa, espárragos y uso en las pasturas para alimento del ganado, además de la producción de frutas y hortalizas.

Otras actividades que realizan las personas de la zona han sido: la cría de ganado vacuno, cría de chivos, acuicultura y actualmente la producción de granjas Avícolas.

Foto. 3.1 Actividad agrícola en Atahualpa. Fuente: Jiménez S, 2007

Foto. 3.2 Actividad ganadera en Atahualpa. Fuente

Foto. 3.3 Actividad agrícola en Atahualpa. Fuente: Jiménez S, 2007

CAPITULO 4.

4. TRABAJO DE CAMPO

4.1 Inventario de pozos.

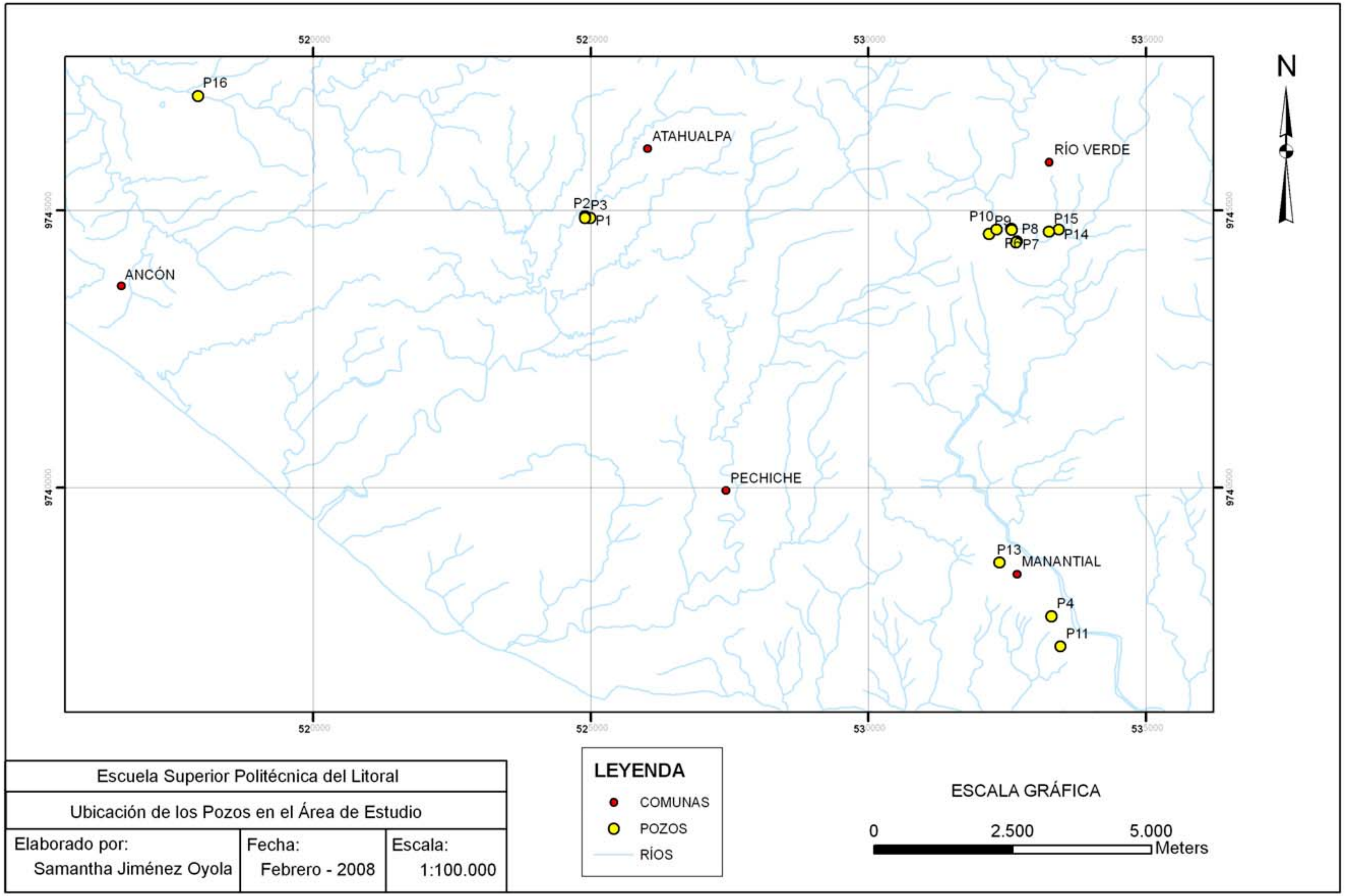
Se realizó un inventario de los pozos existentes en el área de interés, los datos obtenidos fueron proporcionados por habitantes de los respectivos sectores. Ver **tabla 4.1** Resultados del inventario.

Foto. 4.1 Inventariado de pozos. Fuente: Jiménez S, 2007

Ver **mapa 4.1.** Ubicación de los pozos inventariados.

Pozo	Sector	Coordenadas		Prof.	DATUM	N.F
		x	y			
1	Atahualpa	524987	9744866	7		4.5
2	Atahualpa	524901	9744896	8		4
3	Atahualpa	524899	9744864	9		5
4	Simón Bolívar	533302	9737682	22		-
5	Río verde	532577	9744668	20	39 m	6
6	Río verde	532583	9744646	9	41 m	5
7	Río verde	532683	9744442	20	33 m	4
8	Río verde	532663	9744430	20	35 m	5
9	Río verde	532173	9744574	40	37.2 m	8
10	Río verde	532310	9744654	10	42 m	6
11	Manantial	533466	9737140	25		-
12	Zapotal	548980	9743948	8		4
13	Pechiche - Real	532366	9738649	28		7
14	Río verde	533433	9744656	14	36.8 m	1.40
15	Río verde	533256	9744614	20	38 m	15
16	Progreso	517925	9747069	15		-

Tabla 4.1 Ubicación de pozos inventariados
Fuente: Jiménez S, 2008



Mapa 4.1 Ubicación de los Pozos en el Área de Estudio

4.2 Selección de los sitios probables de almacenamiento de agua.

Mediante las visitas de campo en la zona de interés y basándonos en la información recopilada se llego a la conclusión de que la Formación Tablazo es la que presenta mejores condiciones hidrogeológicas, conformando terrenos potencialmente acuíferos, así mismo se encontró la presencia de una capa de depósitos aluviales en la cuenca del río Tambo, con esta información y con el análisis topográfico de la zona se establecieron siete áreas potenciales para el almacenamiento de aguas subterráneas de buena calidad. Ver **tabla 4.2**.

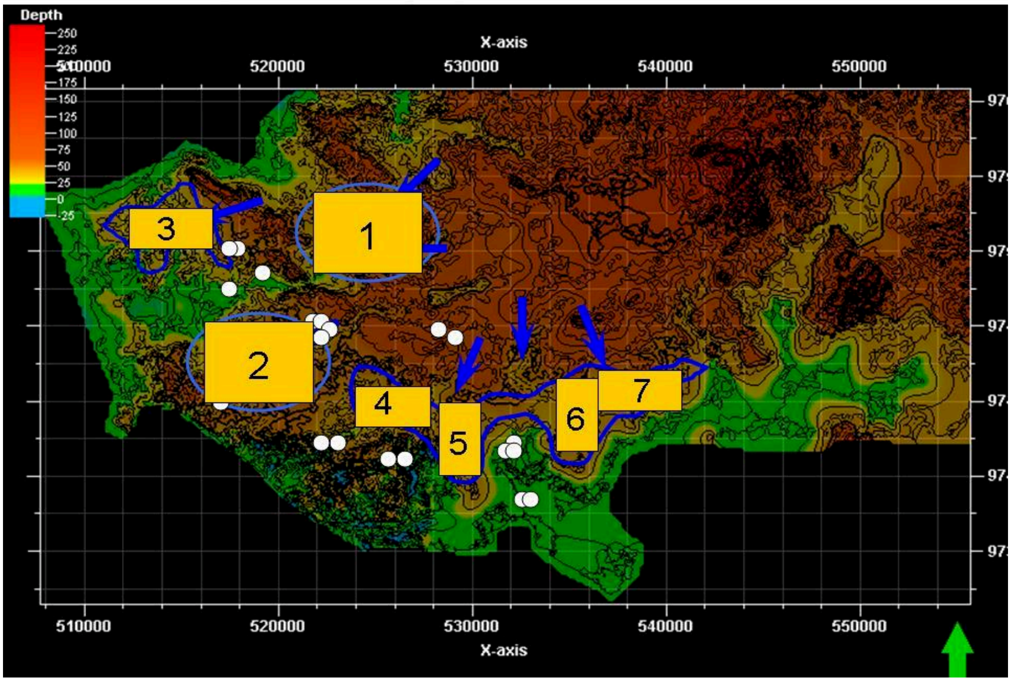


Fig. 4.1 Ubicación de áreas con gran potencial acuífero.

AREA	VERTICE 1		VERTICE 2		VERTICE 3		VERTICE 4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	522211	9754338	526331	9754450	526319	9751113	522255	9751058
2	517478	9747657	522211	9747434	522037	9744079	517311	9744316
3	513469	9754116	517088	9754227	517139	9752558	513413	9752445
4	524013	9745812	528078	9745366	527834	9743146	523770	9743592
5	528725	9743592	530340	9743592	530340	9740808	528725	9740808
6	534238	9744093	536632	9744194	536798	9740662	534405	9740529
7	536910	9744817	539694	9745262	539861	9743369	537189	9742979

Tabla 4.2 Áreas potenciales para la adquisición de datos de SEV.

4.3 Campañas de prospección geofísica superficial en los sitios de mayor interés.

Una vez establecidas las áreas potenciales se procedió con los trabajos de adquisición de datos de resistividades. Se realizaron 57 sondeos eléctricos verticales distribuidos en las 7 áreas de estudio.

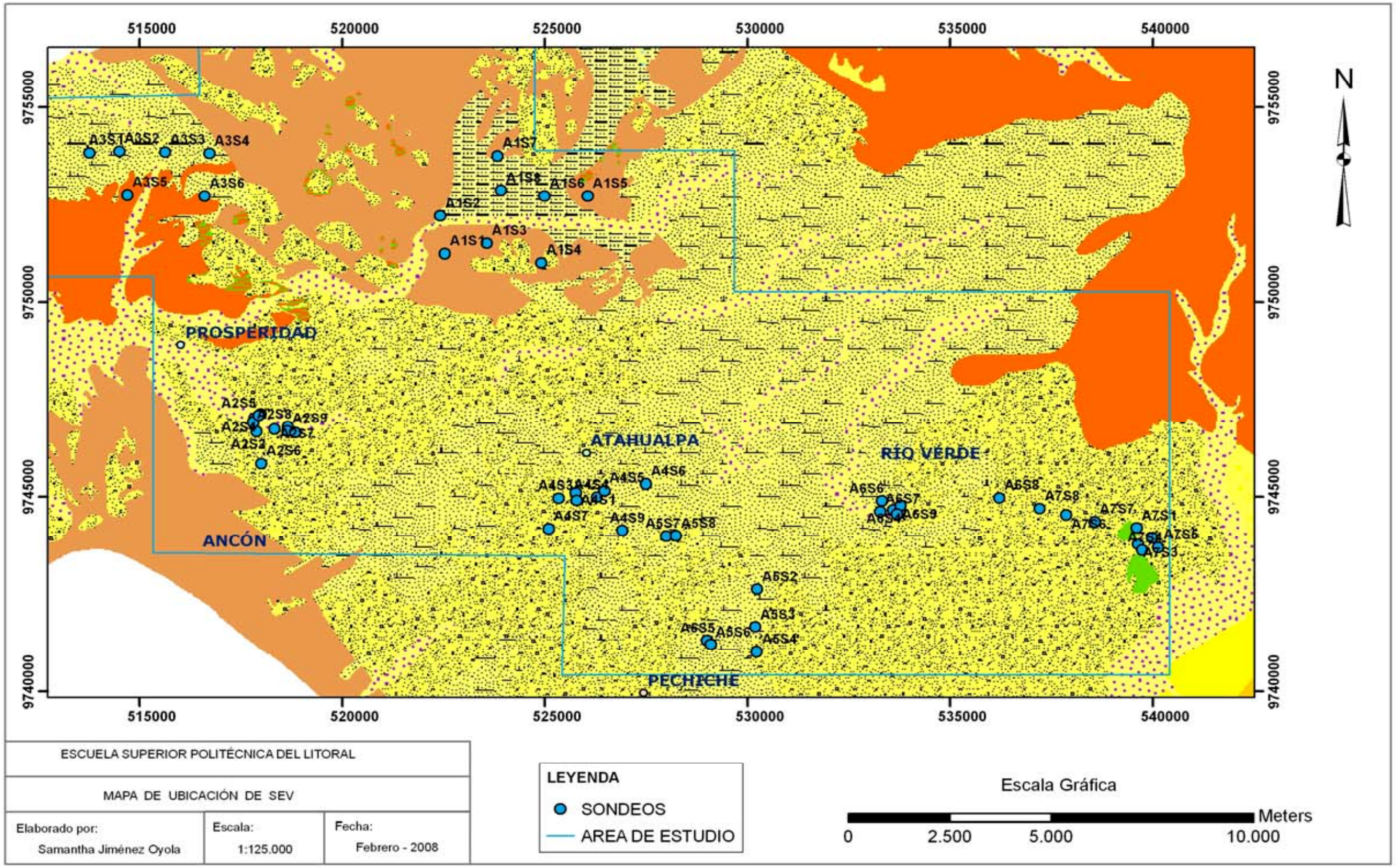
Ver **mapa 4.2** Ubicación de los SEV en el área de estudio.

Tabla 4.3 Coordenadas de los SEV realizados.

A-SEV	x	y
A1S1	522528	9751235
A1S2	522407	9752204
A1S3	523563	9751502
A1S4	524910	9751005
A1S5	526047	9752720
A1S6	524987	9752720
A1S7	523824	9753756
A1S8	523908	9752860
A2S1	517832	9747000
A2S2	517882	9746674
A2S3	517797	9746902
A2S4	517989	9747118
A2S5	517935	9747069
A2S6	517996	9745836
A2S7	518327	9746736
A2S8	518653	9746786
A2S9	518644	9746680
A2S10	518830	9746640

A3S1	513750	9753828
A3S2	514493	9753872
A3S3	515625	9753846
A3S4	516713	9753814
A3S5	514691	9752750
A3S6	516599	9752720
A4S1	525755	9745108
A4S 2	525780	9744906
A4S3	525335	9744960
A4S4	526283	9744986
A4S5	526466	9745152
A4S6	527490	9745324
A4S7	525085	9744176
A4S8	524305	9744510
A4S9	526912	9744128
A5S1	530233	9743322
A5S2	530230	9742618
A5S3	530187	9741651
A5S4	530225	9741015
A5S5	528989	9741302
A5S6	529092	9741196
A5S7	527986	9743987
A5S8	528234	9743992
A6S1	533582	9744660
A6S2	533732	9744582
A6S3	533753	9744634
A6S4	533774	9744778
A6S5	533685	9744554
A6S6	533307	9744890
A6S7	533265	9744620
A6S8	536207	9744970
A7S1	539594	9744190
A7S2	539983	9743946
A7S3	539633	9743786
A7S4	539736	9743630
A7S5	540132	9743702
A7S6	537859	9744536
A7S7	538560	9744358
A7S8	537204	9744696

Fuente: Jiménez S, 2007



Mapa 4.2 Ubicación de los SEV en el Área de Estudio.
Base cartográfica Proyecto VLIR-ESPOL

El equipo utilizado para realizar los SEV fue el TERRAMETER SAS-300B Atlas Copco digitalizado e inteligente con precisión de 1%. Este equipo es generalmente muy utilizado en electrónica, consta de una sola unidad compacta e incluye transmisor, receptor y batería. Este equipo muestra digitalmente Valores de resistividad aparentes, su alimentación es a través de una fuente de energía 12.5V. Mediante este método se inyecta corriente al suelo, la corriente va en rangos de 0.5 a 20 mA, y con voltajes de hasta 600 volts.

Foto. 4.2 Resistivímetro Terrameter SAS-300B

Como accesorios se utilizan electrodos de cobre, cables y carretes.

El AB/2 para los sev realizados fue de 147m y 215m, dependiendo de las zonas en las que se estaba trabajando, ya que en ciertos lugares debido a la topografía abrupta resultaba complicado extenderse hasta un AB/2 de 215 m, por lo que se trabajo con AB/2 de 147m.

Foto. 4.3 Colocación de electrodos de cobre.

Foto 4.4 Toma de datos de resistividades.

CAPÍTULO 5.

5. TRABAJO DE OFICINA

5.1 Procesamiento de los SEV[7].

Los sondeos eléctricos verticales fueron procesados con el software WINSEV6.1. Este programa esta diseñado para el tratamiento de datos de sondeos eléctricos usando el método Schlumberger o Wenner. El usuario puede ingresar un modelo o dejar que el programa cree un modelo automáticamente. El modelo puede ser modificado por el usuario o ser ajustado por el mismo programa. Cualquier espesor o resistividad se podrá fijar de forma que el ajuste no los modifique.

Con este programa también se pueden realizar los perfiles de varios sondeos eléctricos, incluido el de los datos

[7]. *Basado en el folleto Instrucción Manual WINSEV 6.*

extraídos de la tomografía de resistividad. Mediante la interpretación se definirán las distintas capas geoeléctricas, identificando profundidad, espesor y resistividad de las capas para cada punto.

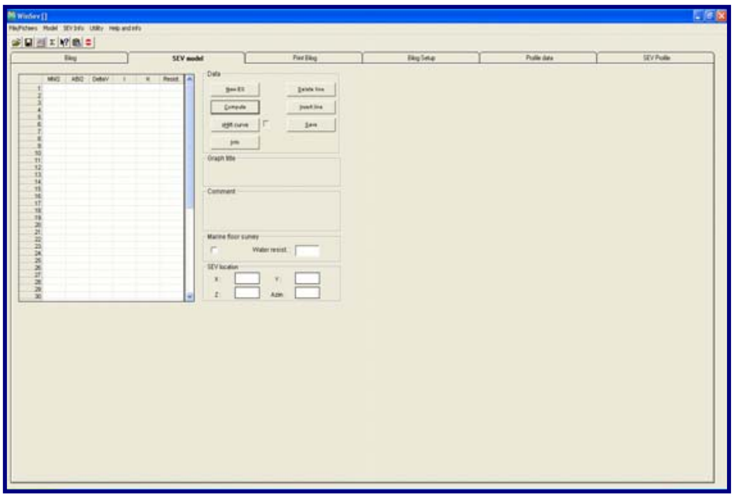


Fig. 5.1 Panel de ingreso de datos al programa. Fuente: Instrucción Manual WINSEV 6.

Principios teóricos para el uso del programa

El calculo de las curvas teóricas usa el método descrito por O. KOEFOED, 1979, y por U.C.DAS y S.K.VERMA, 1980. Los sondeos eléctricos verticales están basados en el modelamiento de las propiedades eléctricas de una capa de terreno horizontal, por la medición de su resistividad aparente desde la superficie. De esta manera usted puede deducir la verdadera resistividad de la tierra, a partir de esto la composición de las diferentes capas.

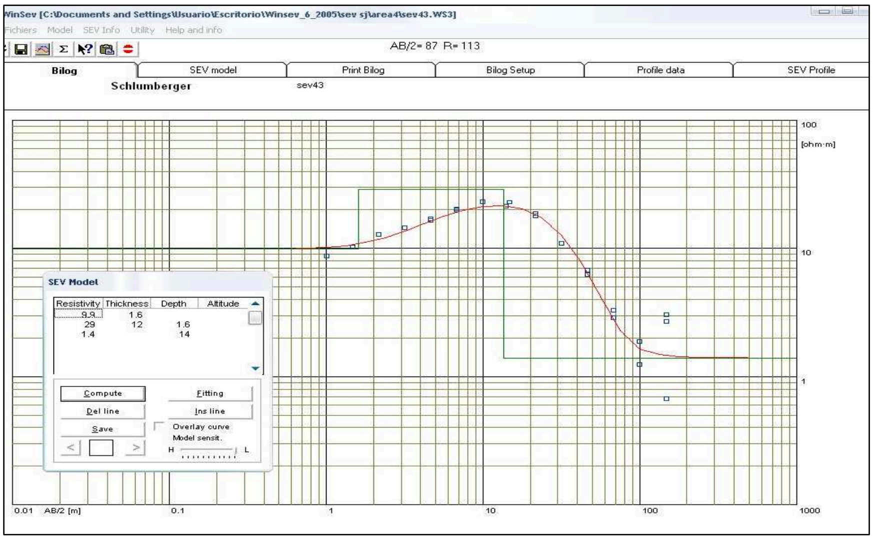


Fig. 5.2 Curva generada por el programa.

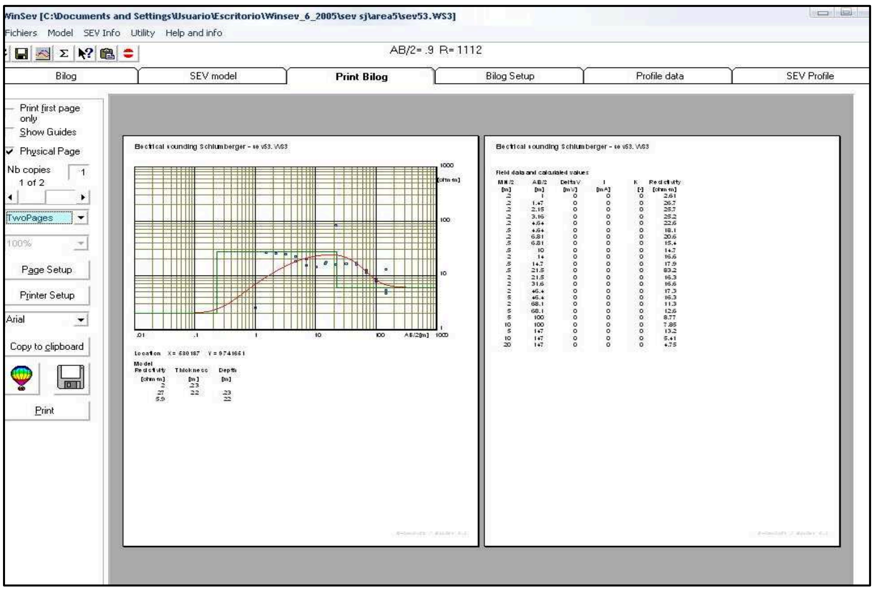


Fig. 5.3 Presentación de resultados.

En el Anexo 1 se pueden observar las curvas generadas con el software WINSEV 6.1 para los 57 sondeos eléctricos verticales realizados, y en el Anexo 2 se pueden observar los cortes geoeléctricos para cada una de las siete áreas.

5.2 Elaboración de mapas de geo-resistividad.

Adicionalmente al uso de WINSEV, se trabajo con los módulos de Análisis de datos y Distribución de propiedades del código PETREL (propiedad de Schlumberger).

Modulo de análisis de datos.

Permite realizar un estudio del grado de correlación entre los sondeos dependiendo la variabilidad o varianza en las lecturas de los mismos como función de la distancia de separación entre cada par de sondeos. El resultado de este análisis es un modelo de variograma que indica dirección y rango óptimo de correlación entre sondeos. El modelo de variograma que se obtiene es utilizado por el programa como una función de peso en el proceso de distribución de propiedades.

Modulo de distribución de propiedades.

Los sondeos eléctricos son cargados en el programa como un registro vertical cuyos atributos son los siguientes:

1. Nombre del sondeo
2. Coordenadas (x,y)
3. Datum referido al nivel del mar
4. Registro de lecturas de resistividad versus profundidad.

La geometría del modelo 3D de la zona de estudio va a estar definido por la topografía del terreno, el área de influencia de los sondeos y la máxima profundidad de investigación. La malla tridimensional que se ha utilizado para cada uno de los casos en este estudio corresponde a una estructura celular cuyas celdas varían entre 50 m y 100 m de longitud en sentido XY y un espesor que varia entre 5m y 10 m en sentido Z. El tamaño de las celdas del modelo define la resolución del mismo y este parámetro a su vez depende del número de sondeos disponibles y de la extensión del área de estudio.

Una vez que los sondeos han sido cargados en el programa, el modulo de distribución de propiedades hace uso de las funciones de peso obtenidas en el modulo de análisis de datos para poblar toda la malla mediante la aplicación de algoritmos de distribución tales como Kriging o Simulación Gaussiana.

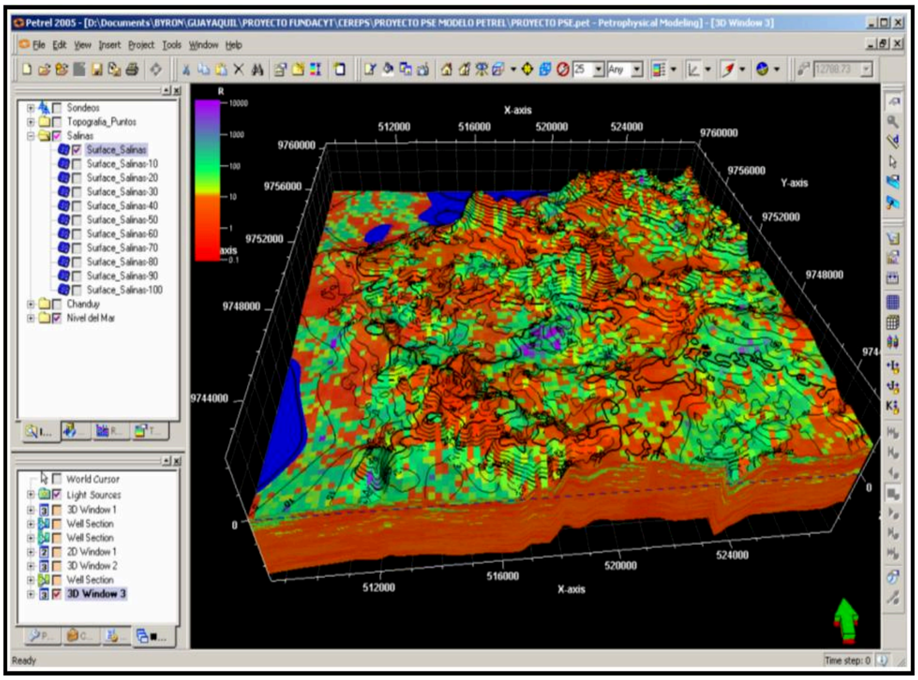


Fig. 5.4 Modelo conceptual de distribución de geo-resistividades en las zonas de Salinas, Chanduy, Santo Tomas y Zapotal.

Basándonos en los datos de los sondeos eléctricos verticales existentes y en la utilización de variogramas y métodos gaussianos de simulación para propagación de propiedades, se realizó un mapa conceptual de distribución de geo-resistividades para la zona de estudio.

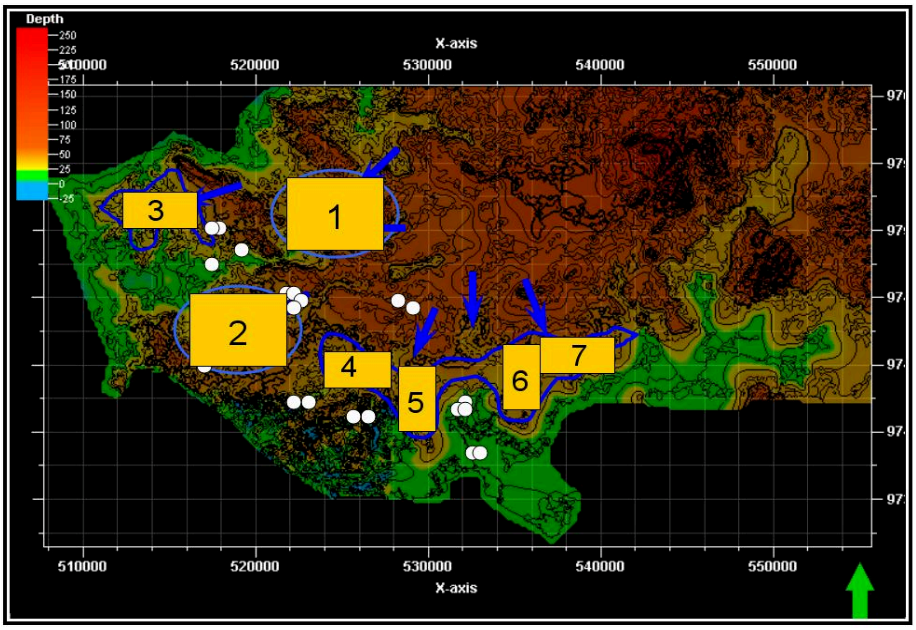


Fig. 5.5 Modelo conceptual del patrón de escorrentía.

Basados en los resultados mostrados por el modelo conceptual de distribución de geo-resistividades y en la topografía de la zona, se determino un modelo conceptual del patrón de escorrentía, con lo que se establecieron siete áreas de gran potencial acuífero, y en las cuales se realizó la campaña de adquisición de sondeos eléctricos verticales.

Resultado del Análisis de los Datos de Resistividades para las Áreas de estudio.

Con los datos obtenidos de los SEV, se procedió a la elaboración de los modelos de resistividad. Estos modelos consisten en mostrar la variación de la resistividad en un área determinada, para diferentes profundidades, en este caso se muestran cortes horizontales del modelo de resistividad cada 10m, esto nos puede dar una clara idea del comportamiento de los cuerpos de agua existentes.

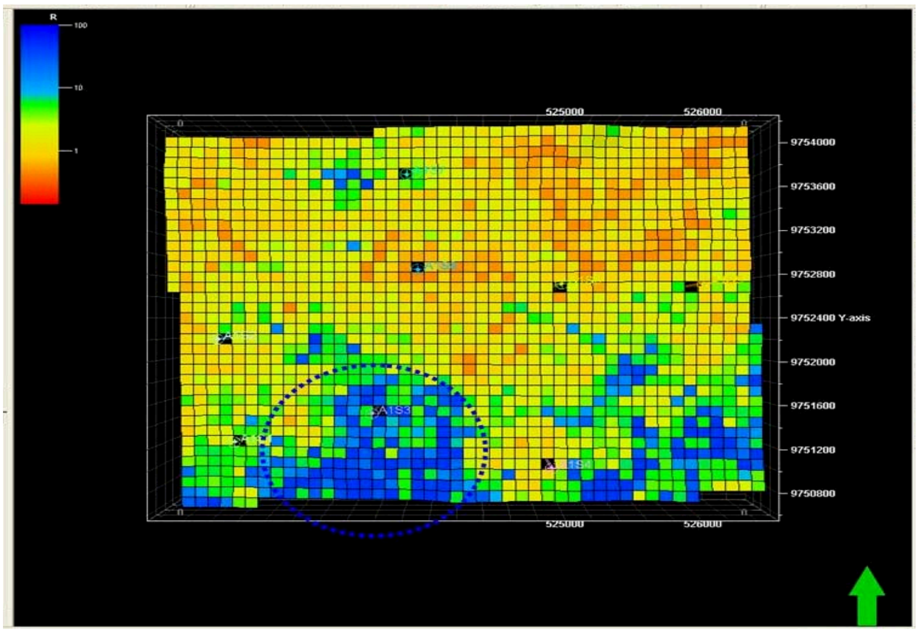


Fig. 5.6 Corte horizontal del modelo de resistividad, donde se indica la presencia de agua. Área 1.

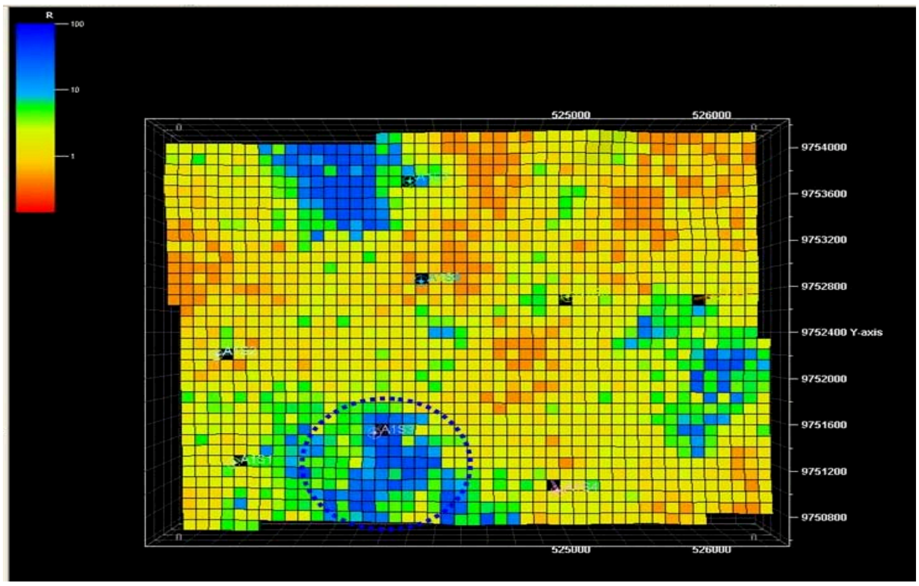


Fig. 5.7 Corte horizontal del modelo de resistividades, donde se indica la presencia menor de agua. Área 1.

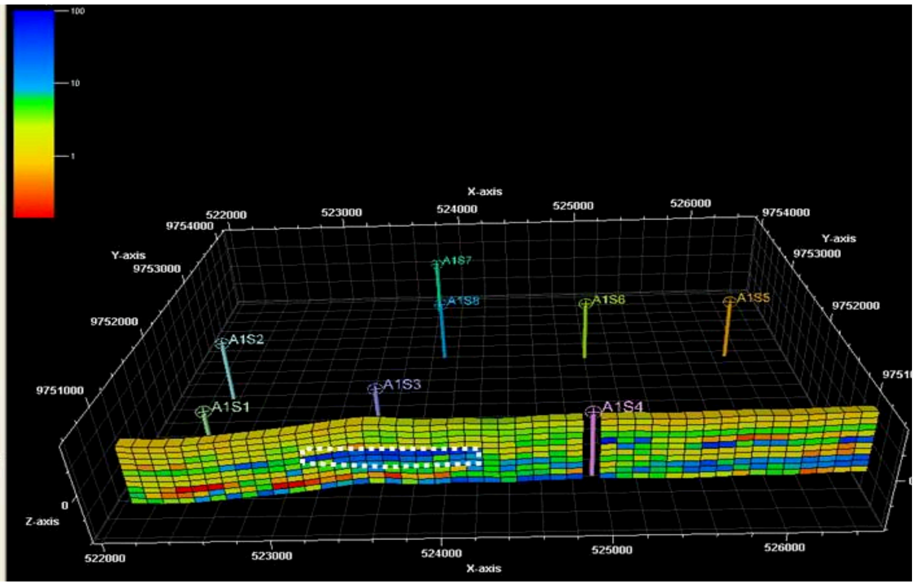


Fig. 5.8 Corte vertical del modelo de resistividades, donde se aprecia la delimitación del cuerpo de agua. Área 1.

Analizando las figuras 6.1 y 6.2 se puede observar que el cuerpo de agua va desapareciendo a medida que aumenta la profundidad.

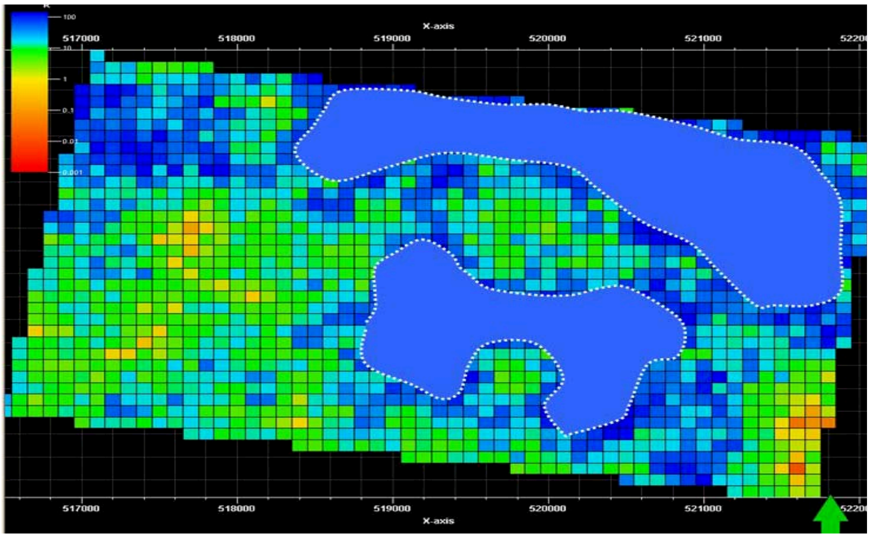


Fig. 5.9 Delimitación de potenciales cuerpos de agua. Área 2.

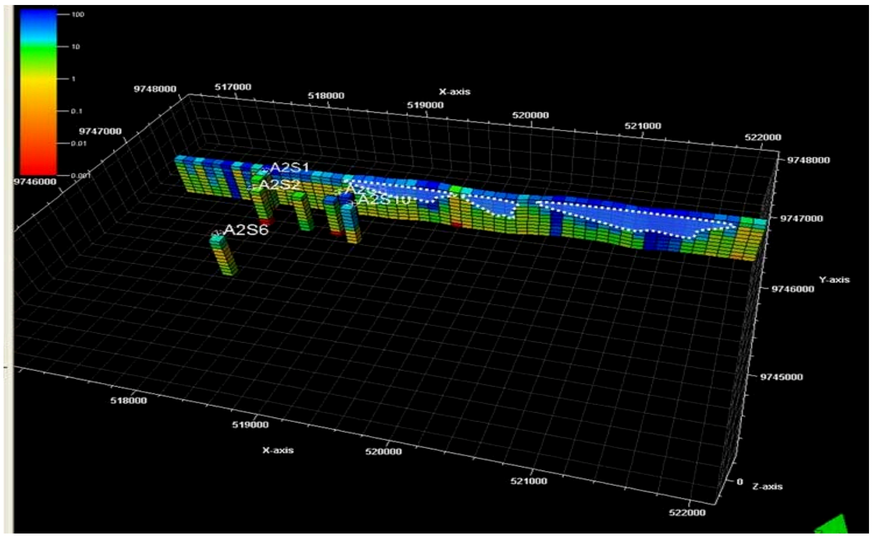


Fig. 5.10 Corte vertical del modelo de resistividades y delimitación de potenciales cuerpos de agua. Área 2.

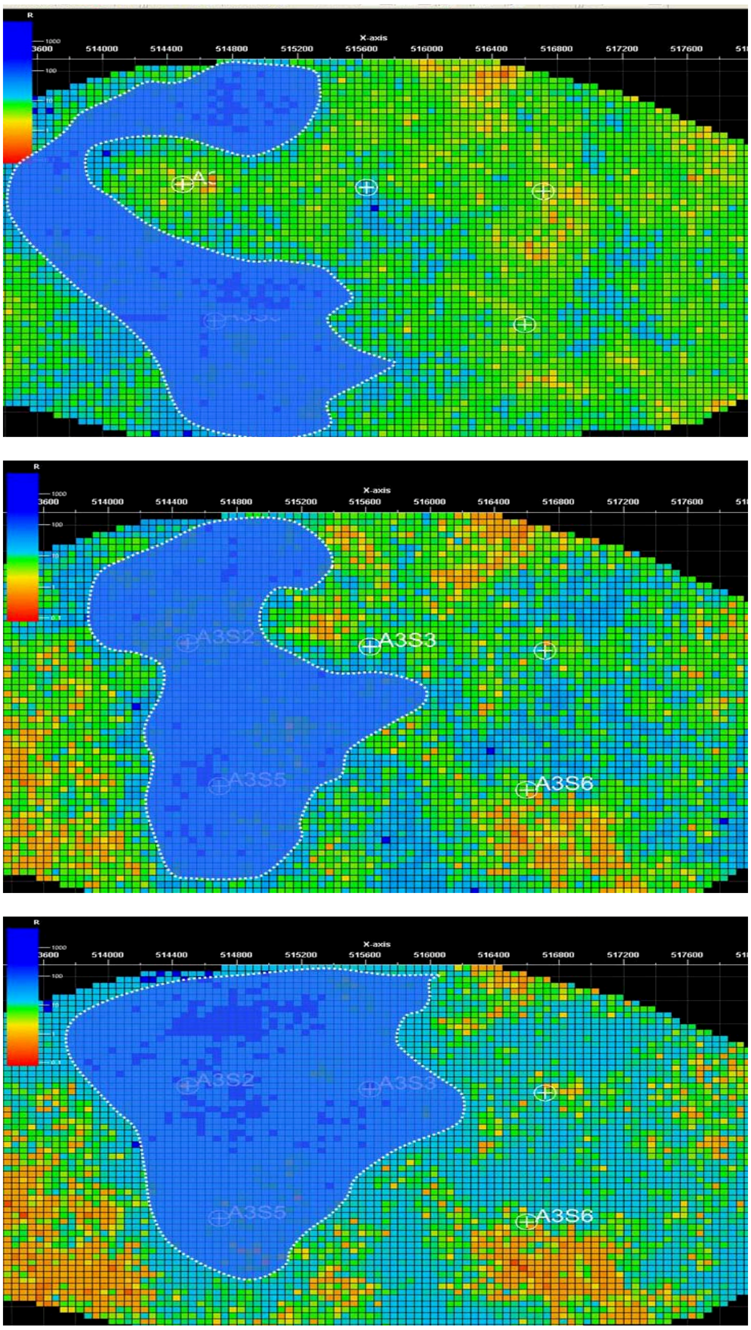


Fig. 5.11 Vista en planta de la variación de los cuerpos de agua, de acuerdo a la profundidad (cada 10m). Área 3.

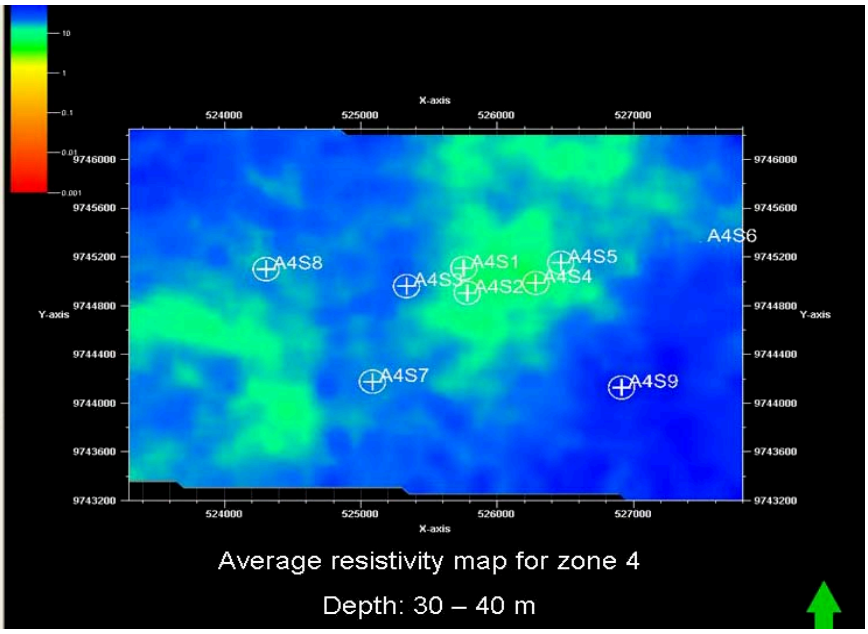


Fig. 5.12 Mapa promedio de Resistividad. Área 4.

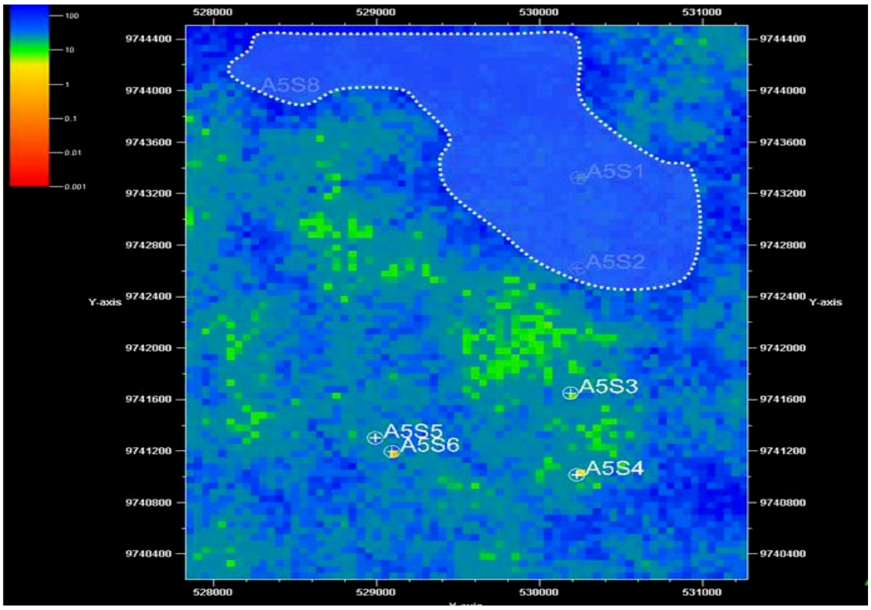


Fig. 5.13 Delimitación de potenciales cuerpos de agua. Área 5.

5.3 Elaboración de Modelos Estáticos Tridimensionales de los Acuíferos Identificados.

Se procedió a la identificación de los cuerpos de agua existentes en las áreas de interés. En el Capítulo 6, se puede observar el cálculo de reservas para cada cuerpo identificado.

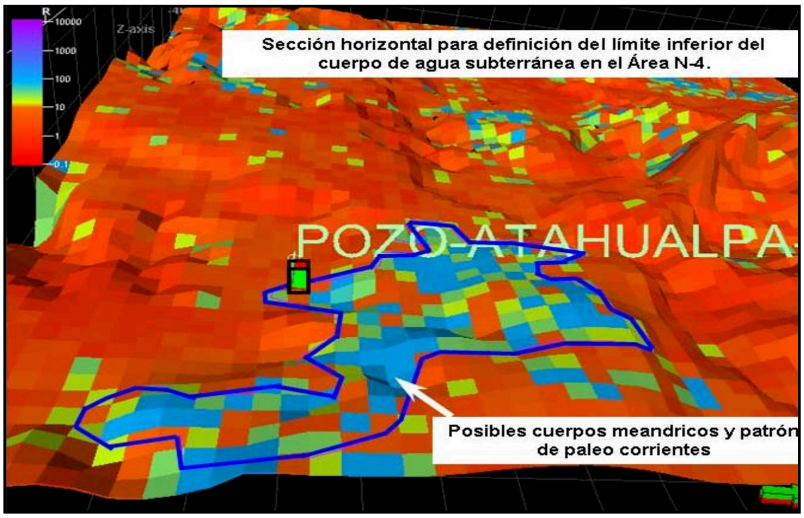


Fig. 5.14 Identificación de cuerpos de agua. Área 4. Sector Atahualpa.

En la figura 5.16 se puede observar la ubicación de un pozo de agua, la información que nos proporciona este pozo, correlacionada con el modelo tridimensional de resistividades, nos ayuda a definir mejor el comportamiento del cuerpo de agua de existente.

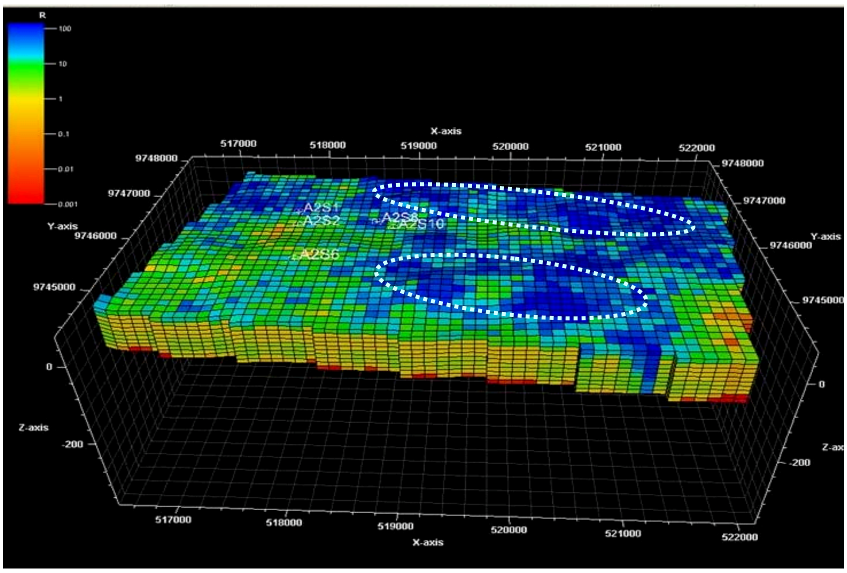


Fig. 5.15 Identificación de cuerpos de agua. Área 2.

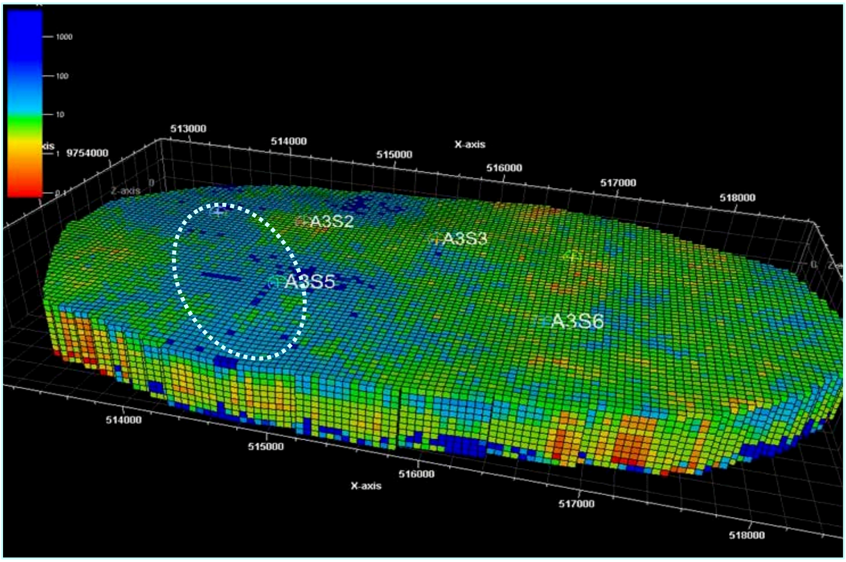


Fig. 5.16. Identificación de cuerpos de agua Área 3.

CAPÍTULO 6.

6. INTERPRETACIÓN

5.3 Sondeos Eléctricos Verticales.

Los sondeos fueron interpretados mediante el Software WINSEV 6.1, además se trabajo con el código PETREL para el análisis y la elaboración de mapas de resistividades y para el cálculo de reservas.

La interpretación se realizó haciendo una correlación entre la información geológica, topográfica, los datos de los sondeos eléctricos verticales, y los datos de pozos existentes.

En el Anexo 1, se pueden observar las curvas generadas por WINSEV, junto con la interpretación respectiva.

Las siguientes tablas detallan los resultados de la interpretación de los SEV.

SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A1S1	522528	9751235	1.1	1.1	37
			10	9.1	0.35
			12	1.9	0.89
			57	45	2.3
					0.14
A1S2	522407	9752204	4.1	4.1	15
			19	15	0.69
			63	44	1.5
					36
A1S3	523563	9751502	28	28	2.2
			31	3.2	126
			42	11	46
			70	28	10
					1.9
A1S4	524910	9751005	0.94	0.94	17
			1.1	0.14	4.8
			5.9	4.8	0.55
			23	17	4.8
			168	145	1.7
					48
A1S5	526047	9752720	0.37	0.37	1.7
			121	121	18
					0.001
A1S6	524987	9752720	1.6	1.6	7.1
			17	15	1.8
			30	13	0.27
			73	43	1.2
			116	43	0.34
					0.001
A1S7	523824	9753756	1.6	1.6	1.4
			45	43	6.2
			463	418	1.4
					26
A1S8	523908	9752860	0.25	0.25	2.2
			0.56	0.31	7.9
			2.1	1.5	0.27
			9.5	7.4	1.2

			60	51	0.47
					32

Tabla 6.1 Resultados de los SEV en el Área 1. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A2S1	517832	9747000	2.2	2.2	54
			3.5	1.3	0.35
			26	23	0.91
			85	59	4.2
					0.27
A2S2	517882	9746674	0.47	0.47	29
			1.6	1.1	0.4
			6.4	4.8	0.83
			59	53	3.1
					0.001
A2S3	517797	9746902	0.55	0.55	8.9
			17	16	0.85
			80	63	2.1
					0.001
A2S4	517989	9747118	7.2	7.2	53
			25	18	0.67
			83	58	2.5
					0.001
A2S5	517935	9747069	0.49	0.49	266
			8.8	8.3	42
			71	62	1.3
					2.3
A2S6	517996	9745836	0.45	0.45	14
			34	34	0.76
					2.7
A2S7	518327	9746736	0.42	0.42	54
			1.2	0.75	1.9
			3	1.8	2
			16	13	0.92
			38	22	1.7
					10
A2S8	518653	9746786	1.1	1.1	79
			131	130	1

			343	212	18
					8.8
A2S9	518644	9746680	1.1	1.1	67
			13	12	0.77
			14	1.3	6.3
			64	50	1.9
					0.001
A2S10	518830	9746640	0.52	0.52	19
			0.97	0.45	10
			6	5	21
			106	100	0.94
					0.008

Tabla 6.2 Resultados de los SEV en el Área 2. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	**y**			
A3S1	513750	9753828	3.1	3.1	8.9
			3.7	0.64	12
			13	9.5	1.1
			24	11	2.7
					415
A3S2	514493	9753872	0.34	0.34	46
			0.73	0.39	5.3
			3.4	2.7	8.9
			47	44	190
					0.001
A3S3	515625	9753846	0.68	0.68	16
			4.5	3.8	10
			22	18	3.2
			120	98	4.9
					0.68
A3S4	516713	9753814	1.6	16	38
			28	26	15
					5.3
A3S5	514691	9752750	0.66	0.66	2
			4.2	3.5	26
			20	16	3.3
					1802
A3S6	516599	9752720	1.4	1.4	21
			5.6	4.2	4.2
					1.8

Tabla 6.3 Resultados de los SEV en el Área 3. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A4S1	525755	9745108	0.28	0.28	2.4
			1.9	1.6	38
			8.4	6.5	8.8
			21	13	13
					1.5
A4S 2	525780	9744906	0.35	0.35	2.2
			0.44	0.09	23
			1.5	1.1	30
			18	17	6.6
					1.6
A4S3	525335	9744960	1.6	1.6	9.9
			14	12	29
					1.4
A4S4	526283	9744986	0.34	0.34	2.9
			6.3	6	68
			53	47	5.2
					0.001
A4S5	526466	9745152	0.43	0.43	3.3
			3	2.6	95
			5.4	2.4	45
			22	17	14
			306	284	2.9
					480
A4S6	527490	9745324	0.32	0.32	1.5
			0.81	0.49	57
			61	60	15
					0.001
A4S7	525085	9744176	0.36	0.36	2.5
			0.46	0.1	54
			10	9.6	20
			68	58	2.5
					0.01
A4S8	524305	9744510	3.2	3.2	16
			8.7	5.5	22
					0.76
A4S9	526912	9744128	1.5	1.5	13
			32	31	58
					6.9

Tabla 6.4 Resultados de los SEV en el Área 4. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A5S1	530233	9743322	1.4	1.4	6.4
			1.5	0.1	3.1
			3.2	1.7	6.5
			51	48	80
					0.001
A5S2	530230	9742618	0.16	0.16	2.3
			0.39	0.23	29
			9.3	8.9	337
			17	7.9	67
			76	59	32
					0.001
A5S3	530187	9741651	0.23	0.23	2
			22	22	27
					5.9
A5S4	530225	9741015	1.1	1.1	3.6
			21	20	24
					5.9
A5S5	528989	9741302	0.36	0.36	1.7
			2.4	2	47
			9.2	6.8	25
			43	34	8.7
					1.2
A5S6	529092	9741196	0.2	0.2	1.6
			12	12	37
					1.3
A5S7	527986	9743987	0.87	0.87	10
			19	18	52
			20	0.6	25
			138	118	2.2
					2.8
A5S8	528234	9743992	0.33	0.33	2.4
			0.69	0.36	14
			41	40	165
					0.001

Tabla 6.5 Resultados de los SEV en el Área 5. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A6S1	533582	9744660	0.64	0.64	5.3
			1.6	1	1.4
			2.4	0.79	3.4
			25	23	12
			189	164	4.4
					54
A6S2	533732	9744582	1.7	1.7	54
			28	26	10
					5
A6S3	533753	9744634	0.57	0.57	12
			3.5	2.9	1.8
			13	9.8	8.2
			169	156	4.1
					114
A6S4	533774	9744778	1.4	1.4	50
			10	8.9	194
					5.6
A6S5	533685	9744554	0.66	0.66	74
			117	116	5.1
					8.6
A6S6	533307	9744890	6.8	6.8	38
			32	25	76
					0.001
A6S7	533265	9744620	1	1	47
			8.5	7.5	13
			20	11	4.8
					8
A6S8	536207	9744970	1.2	1.2	7.4
			4.4	3.2	17
			12	7.3	8.5
					15

Tabla 6.6 Resultados de los SEV en el Área 6. Fuente: Jiménez S, 2008

A-SEV	Ubicación		PROFUNDIDAD	ESPESOR	RESISTIVIDAD
	x	y			
A7S1	539594	9744190	0.67	0.67	22
			1.7	1	7
			16	14	8.6
					6.9
A7S2	539983	9743946	6.1	6.1	44
			10	4	41
			121	111	5.2
					363
A7S3	539633	9743786	1	1	25
			3.3	2.3	151
			9.7	6.4	85
			52	42	7.2
					2.8
A7S4	539736	9743630	0.71	0.71	16
			3.7	3	35
			135	131	3.8
					51
A7S5	540132	9743702	2	2	19
			3.8	1.8	16
			4.9	1.1	9.6
			16	11	9
					10
A7S6	537859	9744536	0.62	0.62	32
			3.4	2.8	159
			14	11	14
					27
A7S7	538560	9744358	2.6	2.6	10
			24	21	43
					1.5
A7S8	537204	9744696	0.27	0.27	1.9
			2.9	2.6	127
					16

Tabla 6.7 Resultados de los SEV en el Área 7. Fuente: Jiménez S, 2008

5.4 Estimación de reservas.

El cálculo de reservas se realizó con el código PETREL, a partir de los mapas de resistividades y de la información de los pozos existentes en los sectores de interés.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

El software calcula el volumen total de roca en el área en la que se esta trabajando, este parámetro se denomina volumen total de roca o volumen neto representado por BV. Posteriormente se calcula la relación AS/MS que corresponde al cociente entre la superficie promedio de acuífero y la superficie del modelo. Seguidamente se procede a la estimación del coeficiente AVP que mide la proporción vertical entre el espesor del acuífero y el espesor total del modelo. Con estos parámetros se obtiene el volumen de roca susceptible de contener un volumen de agua y que se representa por ARV. La formula es la siguiente:

$$ARV = BV * (AS/MS) * AVP$$

*Aquifer rock volume = Bulk volume * (Aquifer area / Model area) * Aquifer vertical proportion*

Una vez obtenido el valor de ARV se lo multiplica por la porosidad, y esto nos da el volumen del cuerpo de agua en millones de metros cúbicos.

Para los cálculos se consideró una porosidad de 20%.

En la siguiente tabla se observa el volumen calculado para cada área.

Área	Volumen	Características
1	4.6 MM m^{3}*	Zona de alta salinidad.
2	6.6 MM m^{3}*	Agua con tendencia salina.
3	9.0 MM m^{3}*	Agua de buena calidad.
4	75-100 MM m^{3}*	Agua fresca.
5	20 MM m^{3}*	Agua con poca salinidad
6	5.7 MM m^{3}*	Agua con poca salinidad
7	3.1 MM m^{3}*	Agua con tendencia salina

Tabla 6.8 Cálculo de reservas generado por PETREL.

*Estos valores deben ser posteriormente calibrados con datos de pozos nuevos y pruebas de producción.

6.3 Propuesta de un Plan de Explotación

Las áreas mas importantes encontradas en este estudio son las cercanas a Pechiche, Río Verde y Atahualpa, correspondientes a las áreas 4, 5, y 6, en estas tres zonas encontramos resistividades entre 15-80Ωm, lo cual nos indica la presencia de agua de buena calidad.

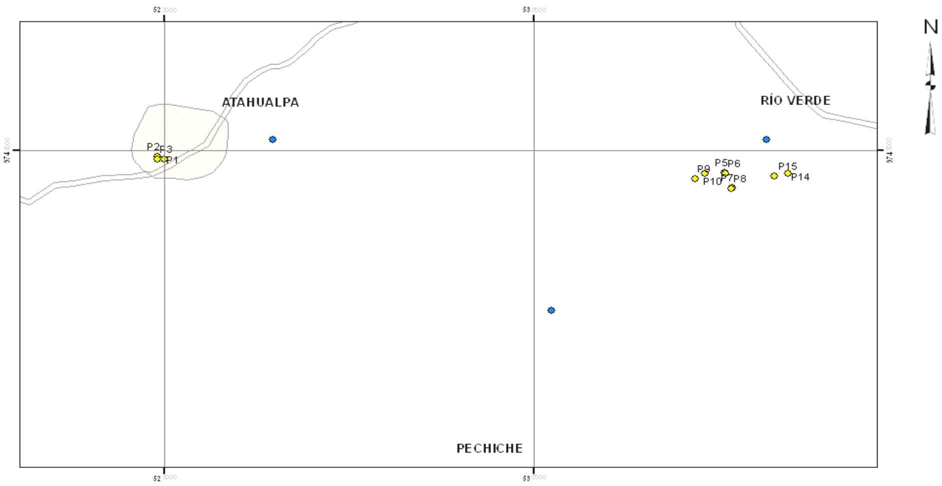


Fig. 6.1 Ubicación de áreas potenciales para la construcción de nuevos pozos.

Debido a lo antes mencionado se recomienda la construcción y explotación de nuevos pozos en estos sectores, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

Para que no exista interferencia entre los pozos se propone que el bombeo sea intercalado, de ésta manera los pozos pueden recuperarse y evitar que la intrusión marina avance.

Construir piezómetros en cada uno de los pozos, estos servirán para el monitoreo periódico de niveles, análisis químicos de las aguas, ensayos de dilución, entre otros.

Los pobladores de las comunas deben involucrarse en la protección del acuífero, para así tener una buena gestión del recurso.

CONCLUSIONES.

- Se desarrollo una red de sondeos eléctricos verticales en la zona de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomas. Realizando un total de 57 SEV, distribuidos en las 7 áreas de estudio.

- Se elaboraron modelos de resistividades de la zona de estudio, lo cual nos permitió identificar de manera gráfica las zonas potencialmente acuíferas según sus valores de resistividades.

- Debido a que lo que interesa es definir unidades hidrogeológicas, más que geológicas. Se han agrupado unidades hidrogeológicas para cada área de estudio, ya que las áreas presentan características diferentes entre sí.

- Se elaboró un mapa de escorrentía superficial de la zona de estudio.

- Se identificaron las mejores áreas para la construcción de nuevos pozos, además se planteó un plan de explotación racional del recurso para satisfacer la demanda de agua en los sectores de interés.

RECOMENDACIONES.

- Debido a que el trabajo de investigación comprende un área bastante extensa, se recomienda realizar otra campaña de adquisición de datos de Sondeos Eléctricos verticales, con un mínimo de 15 SEV para cada área de interés.

- Se deben calibrar los valores volumétricos obtenidos a partir del modelo realizado, para esto es necesario perforar pozos y evaluar reservas a partir de datos de producción.

- Realizar análisis de agua de los pozos existentes en los sectores de estudio, lo que nos servirá para definir con más precisión los sectores idóneos para la explotación de agua de buena calidad.

- Realizar pruebas de dilución en los pozos que presten las mejores condiciones, ya que en su mayoría los pozos hallados en el sector son de construcción artesanal.

- Brindar campañas de capacitación a los pobladores de los sectores de interés, debido a que ellos constituyen un factor primordial para el buen manejo del recurso.

- Sellar los pozos abandonados, ya que estos pueden constituir una fuente de contaminación directa del agua subterránea.

- Realizar pruebas de bombeo para definir el comportamiento de los acuíferos, y establecer sus radios de interferencia.

- Realizar el balance hidrológico del sector de estudio, esto ayudará a determinar la capacidad de recarga de los acuíferos.

- Llevar un control de la variación del nivel piezométrico, como mínimo en un año, esto ayudará a planificar una explotación óptima del recurso agua, teniendo en cuenta su variabilidad en diferentes épocas del año.

BIBLIOGRAFÍA.

[1]: F. Javier Sánchez San Román, Dpto. Geología, Univ. Salamanca (España)(2004) Pág. 2-4.

[2]:ATSDR en Español - El Agua Subterránea, Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea.

[3]: Sr. Jorge de los Santos, Sr. Diocesano Pérez Franco, MANUAL PARA LA INTERPRETACION DE LOS ENSAYOS DE BOMBEO PROGRAMAS DE CALCULO. ISBN: 92-9089-052-5. http://www.unesco.org.uy/phi/libros/libroPIEB/tapa.html.

[4]: Asdrúbal O, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Geofísica en Venezuela. 2003.

[5]: E. N. KALENOV, Interpretación de curvas de sondeos eléctricos verticales, diciembre 1987

[6] Romero Crespo, P. Tesis de grado:Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche, 2002

[7] MIJAILOV L., Hidrogeología, Editorial Mir Moscú.

[8] COLECCIÓN TECNOLOGÍA DEL AGUA, Aguas subterráneas.- Instrumentación, medida y toma de muestras, 1988.

[9] BENITEZ ALBERTO, Captación de aguas subterráneas.- Nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales (2da. edición), DOSSAT, S.A.

[10] MUÑOZ A., GUILLÉN M.A., Consideraciones acerca de la protección catódica de pozos de captación de aguas (ABSTRACT), Muñoz A., Guillen M.A.

[11] LANCO TORRENS ROBERTO, Laboreo de excavaciones subterráneas, Editorial Pueblo y Educación.

[12] COMUNIDAD DE MADRID, Las aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid, Comunidad de Madrid.

[13] INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Conceptos básicos de microbiología de las Aguas Subterráneas, I.T.G.E., 1998.

[14] OLMO ALARCÓN M., LÓPEZ GETA J.A., Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología, I.T.G.E., 2000.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Actuaciones para la protección de las aguas subterráneas frente a vertidos accidentales de sustancias contaminadas, Instituto Geominero de España, 1989.

[21] INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Actualidad de las Técnicas Geofísicas aplicadas en Hidrogeología, M. Olmo Alarcón, J.A. López, 2000.

[22] CURSO INTER. DE HIDROL. SUBTERRANEA, Aguas Subterráneas (instrumentación medida y toma de muestras), 1998.

[23] 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.