

Elaboración de un Plan de Explotación de Aguas Subterráneas en la Zona Occidental de la Península de Santa Elena, mediante la Aplicación de Métodos Resistivos

S. Jiménez ⁽¹⁾, B. Fun-Sang ⁽¹⁾, P. Carrión ⁽¹⁾, P. Romero ⁽¹⁾, J. Montalván ⁽¹⁾.

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra ⁽¹⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral ⁽¹⁾

Km. 30,5 Vía Perimetral, 28003, Guayaquil, Ecuador ⁽¹⁾

sjimenez@espol.edu.ec ⁽¹⁾, bfunsang@espol.edu.ec ⁽¹⁾, pcarrion@espol.edu.ec ⁽¹⁾, plromero@espol.edu.ec ⁽¹⁾, fmonltlv@espol.edu.ec ⁽¹⁾.

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 m³ 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, con temperaturas medias anuales que oscilan entre 17°C -35°C. Los índices pluviométricos generales determinan que la evaporación es superior a la precipitación en balances anuales cerrados, con valores de evaporación superiores a 1100 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 la integración y análisis de la información hidrogeológica, geológica, topográfica y campañas de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados en la zona de influencia del proyecto.

Palabras Claves: SEV, métodos resistivos, pozos, reservas, modelos de resistividades, intrusión marina.

Abstract

This work aims to improve the quality of life of the people living in the rural areas of Salinas, Zapotal, Chanduy and Santo Tomás. Solutions to problems related to water supply are proposed in this job. It is important to keep in mind that people in these areas are in the limit of poverty and water becomes an expensive and hardly accessible resource. The area of interest is located in the Province of Santa Elena, belonging to the Coastal Region of Ecuador. This area makes part of a dry-arid micro climate with annual temperatures ranging between 17°C -35°C. The pluviometric index determines that evaporation exceeds precipitation in annual balances. Evaporation values normally exceed 1100 mm per year, while precipitation is often lower than 450 mm. However, geomorphological studies reveal that topography in these areas enables the collection of water from precipitation. This allows underground aquifers and surface collectors to maintain a minimum storage capacity. This work is based on existing hydro-geological studies, geology, topography and several SEV campaigns carried out in the PSE area.

Keys Words: SEV, geoeléctrica, wells, reserve, marine intrusion.

1. Introducción

El problema que afronta la Península de Santa Elena desde hace muchos años ha sido la carencia de agua potable. En la actualidad esta 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, sin embargo la mayoría de las áreas rurales no son cubiertas con este servicio. Debido a la carencia de este recurso, se justifica la realización de una campaña de prospección y exploración de las aguas subterráneas en zonas aisladas de la Península de Santa Elena, esto va a permitir que los habitantes de estos sectores puedan desarrollar sus actividades domésticas y agropecuarias, y sobre todo les va a permitir llevar una mejor calidad de vida.

2. Planteamiento del Problema

¿Inciden, la Aplicación de los Métodos Resistivos y la información de los Pozos de agua, en la elaboración de la Propuesta del Plan de Explotación?

Justificativos para la realización del presente trabajo:

La empresa encargada de la distribución de agua en la PSE no brinda servicio a las áreas rurales.

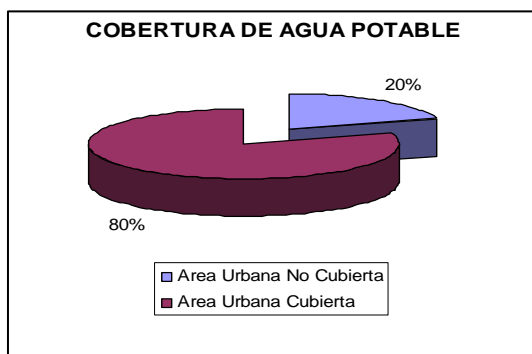


Figura 1. Cobertura del servicio de agua potable que brinda AGUAPEN.

Las comunidades rurales de la PSE se abastecen de agua por carros tanqueros, derivaciones del acueducto o por pozos someros con agua de calidad dura o salobre.

Los habitantes de los sectores de estudio son de escasos recursos y tienen que pagar entre \$ 0.80 y \$ 1.00 el m³ de agua, lo que resulta excesivo.



Figura 2. Habitante de la PSE abasteciéndose de agua mediante un carro tanquero.

La Península de Santa Elena es una zona de tipo árido seco, con 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.

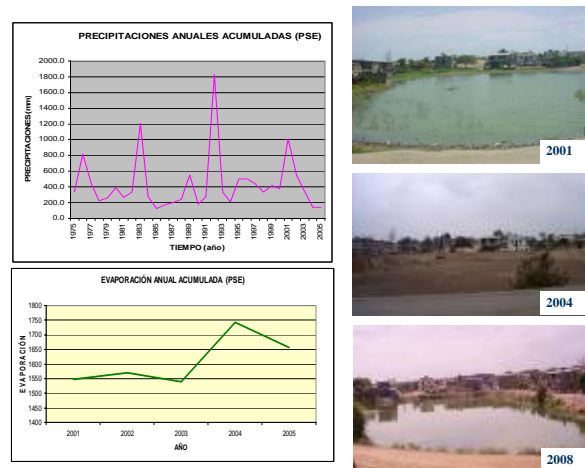


Figura 3. Evaluación temporal de la precipitación y evaporación en la PSE.

Como se puede observar en las gráficas de precipitación y evaporación, las precipitaciones en la PSE son inferiores a 400mm, con excepciones de precipitaciones excesivamente fuertes que se presentan cada 5 o 6 años, mientras que la evaporación se mantiene en rangos superiores a 1200 mm. En la figura 3 también se puede apreciar la repercusión climática en la Albarraza de Prosperidad en distintos años.

3. Elaboración de Hipótesis

Para esta investigación se utilizó la siguiente hipótesis:

La Aplicación de los Métodos Resistivos y la información de los Pozos de agua, inciden en la elaboración de la Propuesta del Plan de Explotación.

Variable X1: Aplicación de Métodos Resistivos.
Variable X2: Información de Pozos de Agua.

Variable Y: Propuesta del Plan de Explotación.

4. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena-Ecuador, corresponde a la zona integrada por las hojas topográficas Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás.

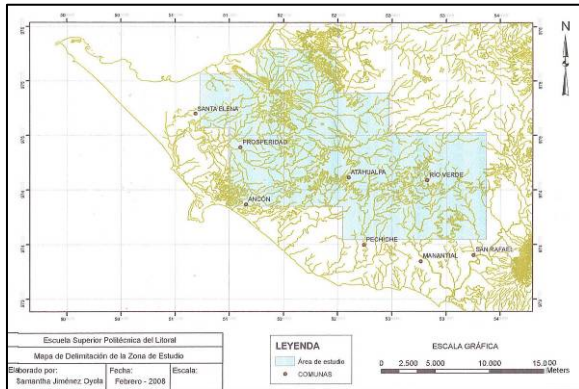


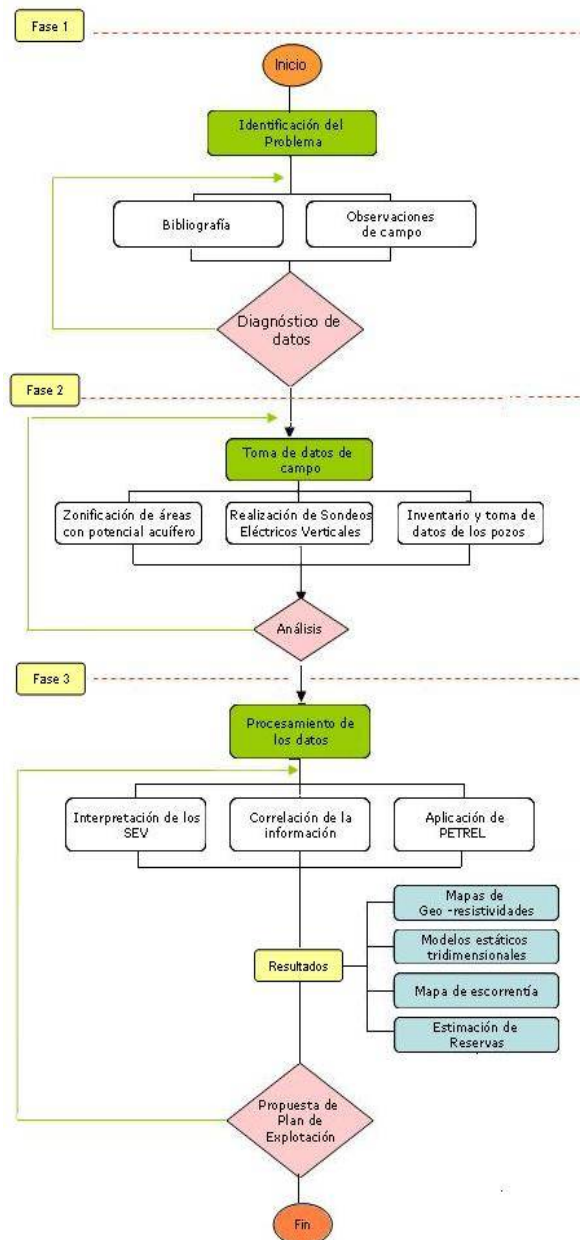
Figura 4. Ubicación de la zona de estudio

5. Metodología de la 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 campo y procesamiento mediante la aplicación de sistemas expertos de interpretación hidrogeológica, localización de potenciales acuíferos subterráneos, elaboración de mapas de geo-resistividad, mapas de escorrentías, elaboración de modelos estáticos tridimensionales de los acuíferos identificados, estimación de reservas y plan de explotación racional de los acuíferos.

Figura 5. Esquema metodológico



6. Objetivos

6.1. Objetivo General.

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

6.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar una red de sondeos eléctricos verticales en la zona de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás (P. Santa Elena).
- Delimitar las masas de agua subterráneas encontradas, indicando: ubicación, geometría y volumen almacenado.
- Elaborar mapas de geo-resistividad.
- Constituir un aporte de investigación para futuros trabajos que se realicen en la Península de Santa Elena.

7. Trabajo de Campo

7.1. Inventario de Pozos

El inventario de pozos se realizó en la zona comprendida por las hojas topográficas: Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás. Se registraron un total de 16 pozos, distribuidos en su mayoría en la zona de Río Verde y Atahualpa.



Figura 6. Inventariado de Pozos.

El inventario de pozos nos permite tener datos de: ubicación, niveles estáticos, profundidad, diseño de captación, usos del agua, análisis in situ de: PH, total de sólidos disueltos (TDS), salinidad, temperatura, entre otros.

La toma de niveles de los pozos es un factor importante, ya que esta información se correlaciona con el modelo de resistividades del terreno y nos permite definir mejor el comportamiento del cuerpo de agua existente.

Tabla 1. Resultados del inventario de pozos.

Sector	Coordenadas		Prof.	N.E
	x	y		
Atahualpa	524987	9744866	7	4.5
Atahualpa	524901	9744896	8	4
Atahualpa	524899	9744864	9	5
Simón Bolívar	533302	9737682	22	-
Río verde	532577	9744668	20	6
Río verde	532583	9744646	9	5
Río verde	532683	9744442	20	4
Río verde	532663	9744430	20	5
Río verde	532173	9744574	40	8
Río verde	532310	9744654	10	6
Manantial	533466	9737140	25	-
Zapotal	548980	9743948	8	4
Pechiche - Real	532366	9738649	28	7
Río verde	533433	9744656	14	1.40
Río verde	533256	9744614	20	15
Progreso	517925	9747069	15	-

7.2. Campaña de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

En el campo de la hidrogeología se ha demostrado ampliamente que los sondeos eléctricos verticales (SEV) son una herramienta útil para detectar zonas de acuíferos, además de ser menos costosos que otros métodos existentes, por tal motivo se aplicó en el presente trabajo de investigación, obteniendo excelentes resultados.

Basándonos en la topografía de la zona, en la geología y en los modelos de resistividades, se realizó un mapa de escorrentía, a partir del cual se identificaron siete áreas con gran potencial de almacenamiento de agua y en las cuales se realizó la campaña de adquisición de datos de sondeos eléctricos verticales.



Figura 7. Realización de SEV

Se realizaron 57 SEV distribuidos en las 7 áreas de mayor interés. El objetivo de los SEV es conocer la distribución vertical de las resistividades del terreno, para inferir la distribución estratigráfica.

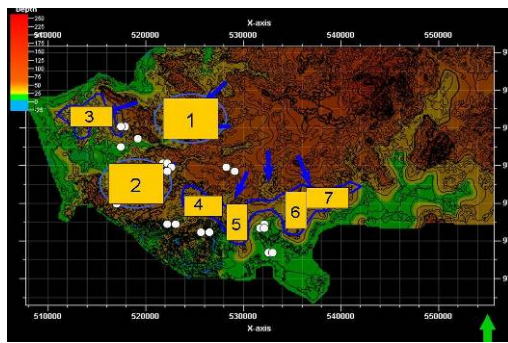


Figura 8. Mapa de escorrentía y delimitación de las áreas con mayor potencial para la recarga de agua.

8. Trabajo de Oficina

8.1. Procesamiento de los Datos de Sondeos Eléctricos Verticales

Los datos de los SEV fueron interpretados por el software WINSEV 6.1 con el cual se obtuvo un modelo vertical de la distribución de las resistividades en el subsuelo. Adicionalmente se trabajó con los módulos análisis de datos y distribución de propiedades del código PETREL, propiedad de Schlumberger; para la elaboración de modelos de resistividades en las zonas de mayor interés.

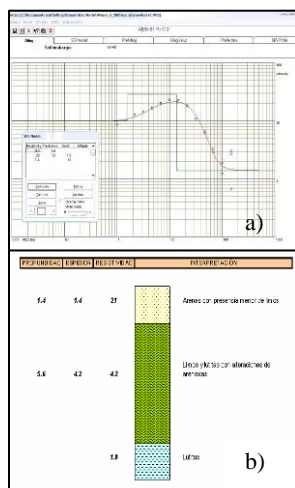


Figura 9. a) Curva generada por WINSEV, b) corte de un SEV.

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 da una clara idea del comportamiento de los cuerpos de agua existentes.

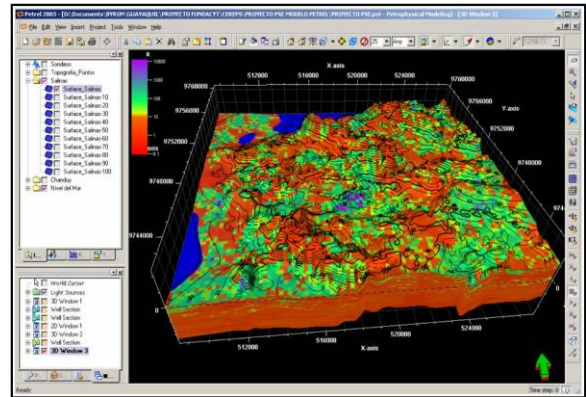


Figura 10. Modelo Conceptual de geo-resistividades de la zona Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás.

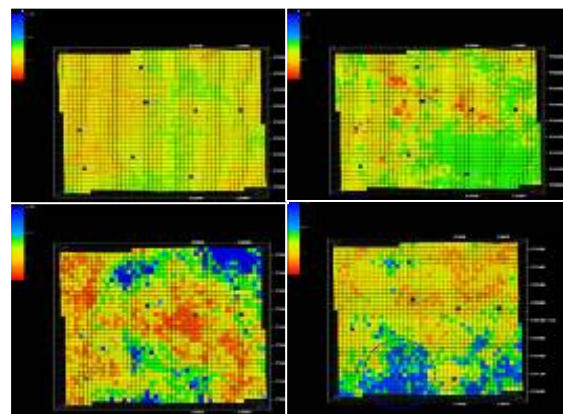


Figura 11. Cortes horizontales del modelo de resistividad a medida que aumenta la profundidad.

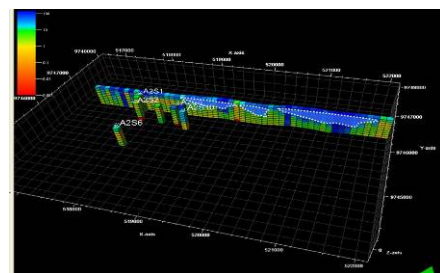


Figura 12. Corte vertical del modelo de resistividades y delimitación de posibles cuerpos de agua.

Finalmente se realizó una correlación entre la geología del lugar, los resultados de los SEV (modelos de resistividades), y la información de los pozos:

Correlación

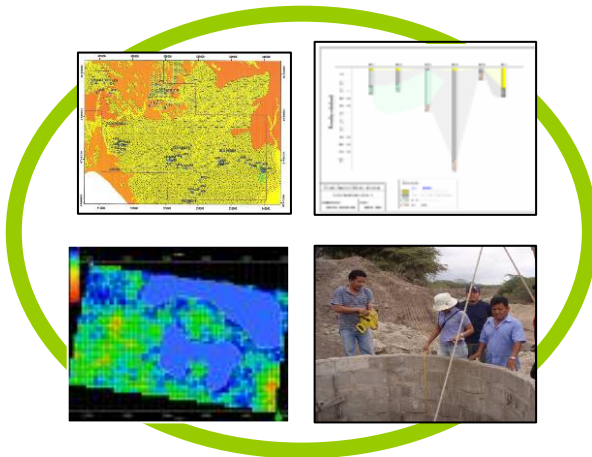


Figura 13. Correlación

8.2. Estimación de Reservas

El cálculo de reservas se realizó a partir de los mapas de resistividades y de la información de los pozos existentes en los sectores de interés. Además los resultados obtenidos fueron corroborados con la información de los cortes geoelectrónicos elaborados para las siete áreas con mayor potencial acuífero. Los cálculos fueron efectuados con el código PETREL propiedad de Schlumberger.

Tabla 2. Resultados del cálculo de reservas

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	75-80 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.

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

9. Propuesta de Plan de Explotación

Las áreas más 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.

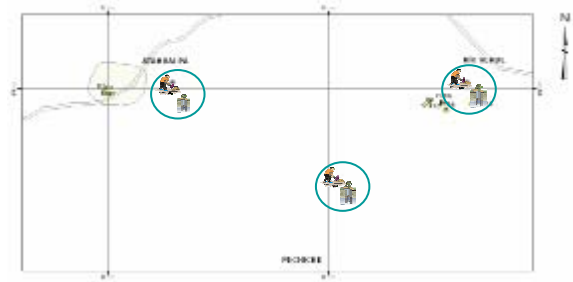


Figura 14. Sitios favorables para la construcción de nuevos pozos.

Se recomienda la explotación de pozos en estos sectores, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Realizar pruebas de bombeo y ensayos con trazadores para estimar las propiedades hidráulicas de los acuíferos. Esto permitirá conocer los caudales de extracción y regímenes de bombeo más adecuados para cada pozo, evitando su sobreexplotación y el avance de la intrusión salina, siendo este el principal problema que se presenta en acuíferos costeros.
- Se recomienda el bombeo intercalado de los pozos, es decir, bombear un solo pozo a la vez, para permitir su recuperación y evitar los fuertes descensos del nivel piezométrico, de esta manera se controlaría el avance de la intrusión salina.
- 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.

10. Conclusiones y Recomendaciones

10.1. Conclusiones

- Se caracterizaron geoelectrícamente las unidades geológicas y se ha definido la geometría en 3D de los acuíferos, lo que permitió estimar las reservas, factor

imprescindible en la gestión racional del recurso agua.

- Se delimitaron las zonas con potencial acuífero, lo que puede contribuir a nuevos proyectos de desarrollo para los habitantes de estos sectores abandonados de la Península de Santa Elena, generando nuevas fuentes de trabajo como la agricultura, la ganadería entre otras.
- Se desarrolló una red de sondeos eléctricos verticales en la zona de Salinas, Zapotal, Chanduy y Santo Tomás (P. Santa Elena). Realizando un total de 57 SEV, distribuidos en las áreas de estudio.
- Las rocas almacén de las cuales puede aprovecharse el agua están constituidas por 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.
- Se elaboró un mapa de escorrentía superficial de la zona de estudio, lo que nos permitió identificar sitios favorables para el almacenamiento de agua.
- Se elaboraron modelos de resistividades para las zonas de interés, lo cual nos permitió identificar las zonas potencialmente acuíferas, según sus valores de resistividades.
- Las áreas más 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 20-80 Ω m, lo cual nos indica la presencia de un agua de buena calidad.
- Se calcularon las reservas de los acuíferos identificados, siendo los más favorables los obtenidos en los sectores: Atahualpa (75 – 80MM m³), Río Verde (20 MM m³) y Pechiche (5.7 MM m³).
- Se realizó un plan de explotación racional del recurso, en el cual se propone la construcción de 3 pozos en los sectores de Río Verde, Atahualpa, y Pechiche.

10.2. 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.
- Es necesario la perforación de pozos y evaluar reservas a partir de datos de producción, para calibrar los valores volumétricos obtenidos a partir del modelo.
- 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 hidrogeológico de los acuíferos, y establecer sus radios de interferencia.
- Determinar la capacidad de recarga de los acuíferos, mediante realización del balance hidrológico del sector de estudio.
- Control de la variación del nivel piezométrico, como mínimo en un periodo de un año, esto ayudará a planificar una explotación óptima del recurso agua, teniendo en cuenta su variabilidad en diferentes épocas del año.

11. Agradecimientos

- 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 Diagramas 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, en especial a los expertos internacionales Dr. Luís Toro y Dr. Tomas Vitvar.
- Al Programa Desarrollo de la PSE, en especial al MAP. Kleber Morán.

- [6] MONTALVÁN TOALA, F. Tesis de grado: Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón, para Propuesta de Plan de Explotación, 2008.
- [7] SÁNCHEZ SAN ROMÁN F. JAVIER, El Ciclo Hidrogeológico. Dpto. Geología, Univ. Salamanca (España) (2004) Pág. 2-4.
- [8] OLMO ALARCÓN M., LÓPEZ GETA J.A., Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología, I.T.G.E., (2000).
- [9] INSTITUTO GEOMINERO DE ESPAÑA, Actuaciones para la protección de las aguas subterráneas frente a vertidos accidentales de sustancias contaminadas, Instituto Geominero de España, 1989.
- [10] INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, Conceptos básicos de microbiología de las Aguas Subterráneas, I.T.G.E., 1998.

12. Referencias

- [1] ROMERO CRESPO, P. Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche. ESPOL-FICT, (Ecuador)(2002), 261p.
- [2] JIMÉNEZ OYOLA, S. Tesis de grado: Elaboración de un Plan de Explotación de Aguas Subterráneas en una Zona de la Península de Santa Elena, mediante la Aplicación de Métodos Resistivos, 2008.
- [3] ROMERO CRESPO, P. Proceso de intrusión marina en acuíferos costeros. Revista Investigación y Desarrollo. ESPOL, 2008. Vol. 15, p. 48-50.
- [4] TORO ESPITIA, L. Evaluación Hidrogeológica Preliminar de la Península de Santa Elena, Ecuador. Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007, 26 p.
- [5] JIMÉNEZ S, FUN – SANG B, CARRIÓN P, MONTALVÁN J. Exploración y Elaboración de un Inventario de Acuíferos en la Península de Santa Elena (PSE-Ecuador). Memorias de las JORNADAS IBEROAMERICANAS SOBRE DESERTIFICACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE AGUA EN TIERRAS SECAS. Agosto, 2007.