

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

F. Montalván⁽¹⁾, P. Carrion⁽¹⁾, B. Fun-Sang⁽¹⁾, S. Romero⁽¹⁾, S. Jiménez⁽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⁾

fmontalv@espol.edu.ec⁽¹⁾, pcarrion@espol.edu.ec⁽¹⁾, bfunasang@espol.edu.ec⁽¹⁾, plromero@espol.edu.ec⁽¹⁾,
sjimenez@espol.edu.ec⁽¹⁾

Resumen

Las comunidades de la Península de Santa Elena (PSE) que no cuentan con agua potable por parte de la empresa AGUAPEN encargada de la distribución del líquido, se han organizado en Juntas de Agua Potable la cual administra y distribuye el recurso. La Comuna Olón se provee de agua potable de tres pozos que son administrados por la Junta Regional de Agua (JRAO). Este proyecto consistió en caracterizar geoeléctricamente el acuífero para lo cual se realizaron 39 SEV en el área de estudio para establecer nuevos sitios para la construcción de pozo y, estimar las reservas (1.3 millones de metros cúbicos) promoviendo la gestión sostenible de recarga. Además se realizaron análisis químicos, medición de niveles en los pozos y pruebas de dilución para estimar la velocidad horizontal del acuífero. La caracterización de este recurso permitirá desarrollar una propuesta de ubicación y plan de explotación de agua subterránea.

Palabras Claves: SEV, geoeléctrica, pozos, reservas, intrusión marina.

Abstract

The communities of the Peninsula de Santa Elena (PSE), which do not count with water services provided by AGUAPEN (company in charged of the liquid distribution), have organized Juntas de Agua Potable which administrates and distributes the resource. The Comuna Olon gets provisions of water by three different wells that are administered by the Junta Regional de Agua (JRAO). This project consisted in characterizing geoelectricly the aquifer, for which it was performed 39 SEV at the area of study to establish new sites for construction of wells and to estimate reserves (1.3 million cubic meters) promoting the reservoir recharge. Besides all this, it has been tested for chemical analysis, measurements in the well levels, and dilution tests to estimate the horizontal velocity of the aquifer. The characterization of the resource will allow developing a new proposal of location and exploitation plan of underground water

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

1. Introducción

La zona de estudio alcanza un área de 70 Km² a lo largo de la cuenca del río Olón. La Península de Santa Elena (PSE) posee un clima tropical árido a semiárido. Las temperaturas medias anuales son de aproximadamente 24°C y las precipitaciones anuales son inferiores a 251 mm. Aún en la época invernal de los últimos años las lluvias son escasas, motivo por el cual la zona no cuenta con ríos importantes que abastezca de agua todo el año.

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

El acuífero de Olón se viene explotando desde hace aproximadamente 25 años. El agua extraída se comercializa en tres categorías: Comunereros (Tipo 1), Residencia (Tipo 2) e Industrial (Tipo 3).

La PSE cuenta con acuíferos que han sido caracterizados geofísicamente, algunos de los cuales están siendo explotados por las comunas del sector y son administrados por las Juntas de Agua.

Esta investigación es importante para complementar estudios geoelectrónicos anteriores, realizados de manera puntual, la cual permite, conocer el comportamiento del acuífero, estimar sus reservas, y caracterización geoelectrónica a escala regional desarrollando un plan de explotación sostenible [4].

2. Planteamiento del Problema

¿Incidirá la Caracterización Geoelectrónica para la Propuesta del Plan de Explotación?

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

AGUAPEN no llega con sus redes de distribución a la parte norte de la península, por lo que esta zona se ha visto en la necesidad de explotar el acuífero que posee e implementar un sistema que consiste en extraer agua subterránea seguido de un tratamiento previo y sencillo (cloración in situ), para distribuirla a la población. El costo a pagar por el líquido vital varía dependiendo de la categoría que la JRAO haya calificado al consumidor, así tenemos tres tipos que son las siguientes:

- Tipo 1: 0.30 USD/m³ (Comunereros)
- Tipo 2: 0.54 USD/m³ (Residencial)

- Tipo 3: 0.85 USD/m³ (Industrial)

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

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

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

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

En la temporada de playa en que la PSE recibe la mayor cantidad de turistas (Enero a Mayo), la demanda por el líquido aumenta, lo cual hace que las estaciones de bombeo incrementen el tiempo de operación y con esto poner en peligro la sostenibilidad del acuífero que se está haciendo evidente debido a la disminución del caudal de los pozos. La tasa de explotación de los pozos #2, #3 es de 5 l/s cada uno, mientras que el pozo #7 tiene mejor rendimiento con una tasa de explotación de 12 l/s. Además, existen pozos privados que no pertenecen a la JRAO, de los cuales, no se tienen datos para conocer el rendimiento y volumen de explotación (Ver tabla 1 y Figura 12). El pozo #8 es privado, en períodos en que el rendimiento de los pozos de la junta de agua disminuye debido a la escasez de lluvias, éste pozo se conecta a la red de distribución para compensar la demanda del líquido. Debido a que la red primaria se instaló hace aproximadamente veinticinco años, parte de ella pasa por propiedades privadas lo cual hace difícil el mantenimiento y el control de fugas, el estudio realizado por el Fondo Ítalo Ecuatoriano propone que la nueva red de distribución debe ser paralelo a la vía [4].

El sistema que posee la Junta Regional de Olón, abastece de agua a cinco comunidades que son: Olón, Curia, San José, La Núñez y La Entrada. Cada comuna esta representada por un delegado en el directorio de la JRAO [4].

Estudios anteriores realizados por el MIDUVI [2, 3] en busca del líquido se basaron en la prospección por Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) método con el que se ha conseguido localizar y definir la geometría del acuífero Olón.

Este proyecto de tesis de grado se basa en la caracterización geoelectrónica (SEV) del acuífero, tomando en cuenta también análisis químicos, de

aguas, niveles de pozos y pruebas de dilución, para la caracterización y proponer lugares idóneos para la explotación [4].

3. Elaboración de Hipótesis

Para esta investigación se utilizó la siguiente hipótesis [4]:

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

Variable X: Caracterización Geoeléctrica.

Variable Y: Propuesta del Plan de Explotación

4. Ubicación del área de estudio

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



Figura 1. Cuencas hidrográficas de la PSE

5. Metodología de la investigación

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

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

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

Interpretación y Resultados (Fase III).- Comprende la interpretación de los datos obtenidos

en el campo, estimar las reservas del acuífero para plantear un plan de explotación de agua subterránea.

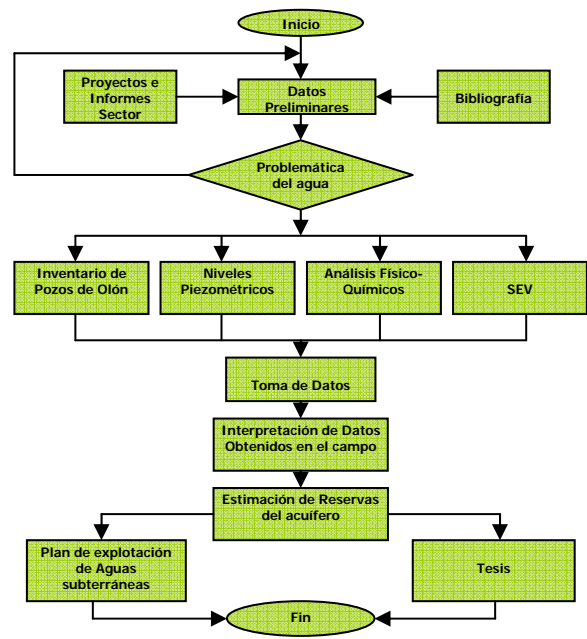


Figura 2. Esquema metodológico

6. Objetivos

Objetivo General

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

Objetivos Específicos

- Realizar campañas geoeléctricas en el sector de Olón.
- Estimar las reservas de agua en el acuífero.
- Con la interpretación de los datos geofísicos obtenidos seleccionar el mejor sector para la explotación de agua subterránea.
- Aportar al desarrollo sostenible de la comuna Olón y por ende a la Península de Santa Elena orientando sobre el manejo eficaz del recurso agua.

7. Trabajo de Campo

7.1. Columna Estratigráfica

Se realizó un reconocimiento geológico y se levantaron columnas estratigráficas (Figura 3), con el fin de correlacionar los valores de resistividad obtenidos. Durante el levantamiento se observaron afloramientos de arcillas, limos, arenas y gravas, que son la roca almacén del recurso agua, la que se estima posee una potencia aproximada de 10 a 25 m.

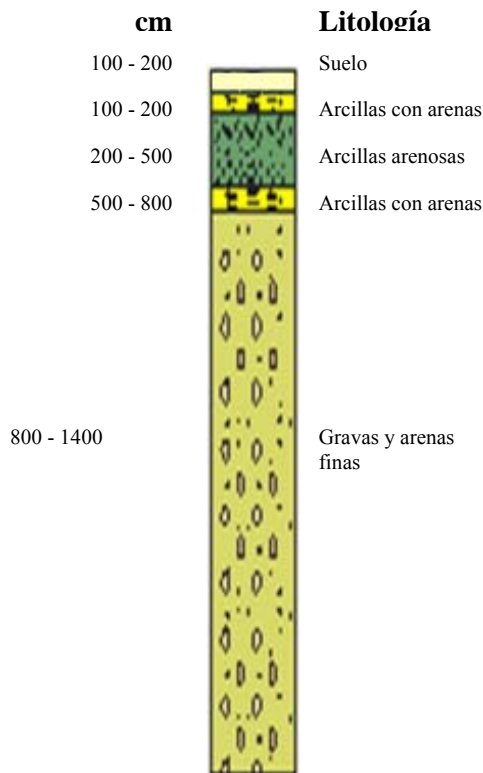


Figura 3. Columna estratigráfica

7.2. Inventario de Pozos

La JRAO posee siete pozos, tres de ellos (pozos #2, #3 y #7), son los que abastecen de agua a aproximadamente 6000 personas. Además, en este sector existen pozos privados a los que no se tiene acceso. Para el inventario se tomaron datos de posición, caudal, profundidad y datos generales.

Tabla 1. Características de los pozos de la JRAO

Pozo	X	Y	Caudal (l/s)	Profundidad (m)
1*	528088	9802470	-	-
2	528079	9802274	5	23
3	528088	9802470	5	23
4*	528215	9802242	-	-
5*	528132	9802356	-	-
6*	528079	9802274	-	24
7	527608	9802324	12	27
8**	527985	9802296	6	19

*Pozo Fuera de uso

** Pozo privado

7.3. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Para los 39 SEV realizados se utilizó el dispositivo Schlumberger, con AB/2 de entre 147 y 215 m dependiendo de la topografía del sector, 30 fueron realizados en época de lluvia y los 9 restantes en estiaje (época seca).



Figura 4. Realización de SEV

7.4. Toma de muestras de aguas

Se tomaron muestras de agua en los pozos que se encuentran activos, para análisis físico-químicos.

Tabla 2. Ubicación de toma de muestras de aguas

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

7.5. Colector de aguas lluvias

En el recinto San Vicente de Loja (5 Km al Este de Olón), se construyó el colector de aguas lluvias, con el fin de recolectar muestras de aguas para análisis físico-químicos y análisis isotópicos. Además, éste colector tiene como fin estimar las precipitaciones del sector, parámetro indispensable en el balance hídrico de la zona.



Figura 5. Colector de aguas lluvias

7.6. Ensayo de dilución

Éste ensayo se realizó para estimar la velocidad horizontal del acuífero. Se utilizó la técnica de trazadores, utilizándose NaCl (sal común) para realizar una solución, la cual fue vertida a lo largo de toda la columna de agua del pozo #8, debido a que éste pozo presentaba las condiciones ideales para el ensayo.



Figura 6. Inyección de la solución de trazador NaCl

8. Trabajo de Oficina

8.1. Geología

La zona de estudio se encuentra sobre un depósito cuaternario (aluviales), material que se encuentra rellenando el valle del río Olón, su composición varía dependiendo a los sitios de aporte, se presenta como gravas y conglomerados algo brechosos, encerrados en una matriz limo arenosa.

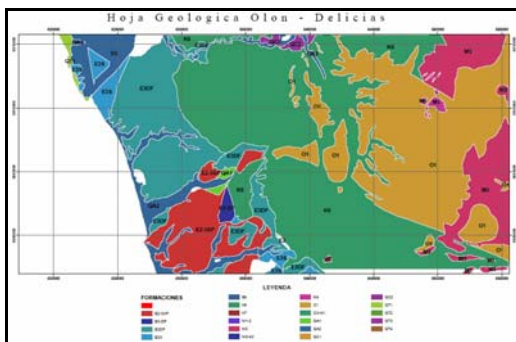


Figura 7. Geología regional de la zona de estudio

8.2. Integración en GIS

Se digitalizaron dos hojas geológicas y topográficas Olón y Delicias a escala 1:50.000. Las hojas geológicas tuvieron como base el estudio del proyecto ORSTOM mientras que las topográficas la información del IGM.

8.3. Procesamiento 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 de las distintas capas del subsuelo.

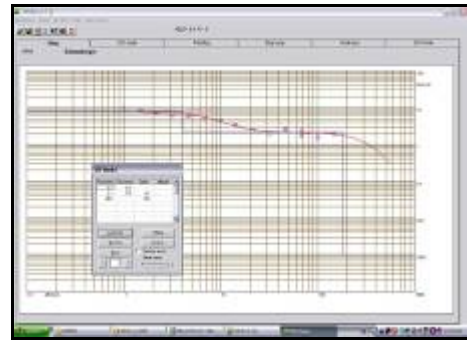


Figura 8. Modelo de resistividades de un SEV en WINSEV 6.1

8.4. Determinación de la Superficie Piezométrica

Para determinarla se llevó un registro de los niveles estáticos de los pozos que están en uso de la JRAO, pozos #2, #3 y #7, con un monitoreo mensual durante 3 meses (octubre, noviembre y diciembre), se utilizó la sonda para medir niveles de agua y profundidad de los pozos, realizándose un promedio debido a que los niveles no variaron en mayor medida.

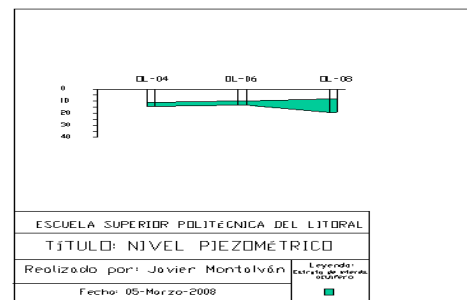


Figura 9. Niveles piezométricos

8.5. Determinación de la velocidad horizontal del acuífero

La estimación de la velocidad del acuífero se realizó a partir del ensayo de dilución realizado en el pozo #8, con la sonda WTW Multi 350 i, antes y después de la inyección de la solución de NaCl, se tomaron valores de conductividad eléctrica (CE) a diferentes profundidades y a distintos periodos de tiempo. Cabe mencionar que la cantidad con la que se preparó la solución de NaCl fue de 3 Kg, y por tanto, no afecta la calidad del agua en el acuífero.

Se realizó una curva de CE vs. Tiempo la cual fue suavizada para obtener la ecuación y así obtener $t_{1/10}$.

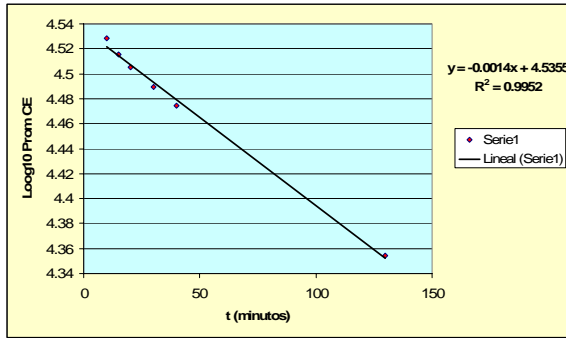


Figura 10. Log10Prom CE vs. Tiempo

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

Siendo:

- V_H = Velocidad horizontal
- Φ = Diámetro pozo
- α = Factor de corrección
- t = Tiempo

Tabla 3. Valores para determinar la velocidad horizontal.

V_H cm/min	Factor	Φ cm	α	$t_{1/10}$ min
0.03	1.81	15.24	1.5	714

Reemplazando los valores de la tabla 3 en la Ec. 1 obtenemos que el valor de la velocidad horizontal del acuífero es **0.42 m/día**.

9. Interpretación y análisis de datos

9.1. Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

La interpretación de los SEV se realizó en el software WINSEV 6.1, apoyándose en la geología del sector, estudios geoelectricos anteriores y trabajos realizados en campo, con ésta interpretación se realizaron columnas y cortes geoelectricos. Al contrastar los resultados de los SEV con las columnas estratigráficas, se comprobó la validez del método.

9.2. Calidad y usos del agua

Se tomaron seis muestras de aguas en los pozos de la JRAO que están en uso (#2, #3 y #7). Además se tomó una muestra de aguas lluvias del colector en San Vicente de Loja. Según la clasificación de Riverside para uso agrícola, los seis análisis que se realizaron en los pozos pertenecen al tipo C2S1, la

cual indica que es agua de salinidad media y bajo contenido de sodio.

9.3. Selección de sitios para la perforación de pozos de agua

Con la interpretación conjunta realizada se establece que el lugar idóneo para la construcción de nuevos pozos es la zona Este (sector Los Ramírez), de donde se localiza el actual campo de pozos, con una potencia de interés de 15 m. En el mapa de iso-resistividades (figura 11), se observa la ubicación del sector para la construcción del nuevo pozo.

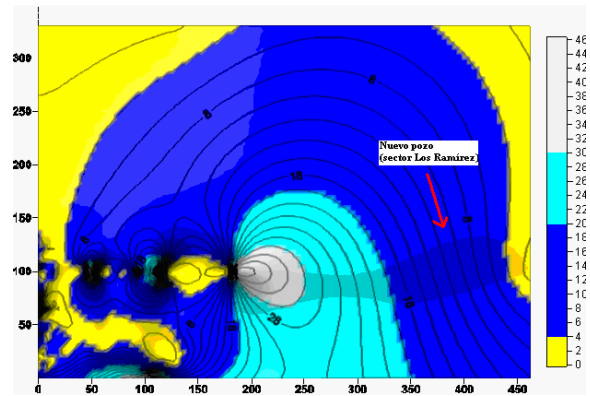


Figura 11. Mapa de iso-resistividades

9.4. Estimación de reservas del acuífero

Con las columnas geoelectricas, se realizaron cortes geoelectricos, por lo que se hizo posible utilizar el método de los perfiles.

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

Los pozos de la JRAO tienen una profundidad máxima de 27 m, por lo cual se ha tomado como potencia media aproximada de 30 m, debido a que en el cauce del río Olón la potencia del estrato de interés es mayor a la del sector del campo de pozos.

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

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

9.5. Propuesta de plan de explotación

Actualmente se están explotando 26000 m³ mensuales (según facturación de la JRAO), con lo que se cubre la demanda de los usuarios. Al ritmo actual de explotación y sin considerar la recarga natural suficiente para el acuífero, es decir con

precipitaciones por debajo de los 200 mm al año, las reservas actuales alcanzarían para 4 años; además se debe tomar en consideración que existen pozos que no son controlados por la junta y por ende se desconoce el volumen extraído por lo que en realidad la escasez de agua se hará evidente antes del tiempo previsto. El acuífero de la cuenca del río Olón obtiene su recarga de la parte alta de la cordillera Chongón-Colonche donde existen precipitaciones que están por encima de los 500 mm.

El plan de explotación que se propone es el siguiente:

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

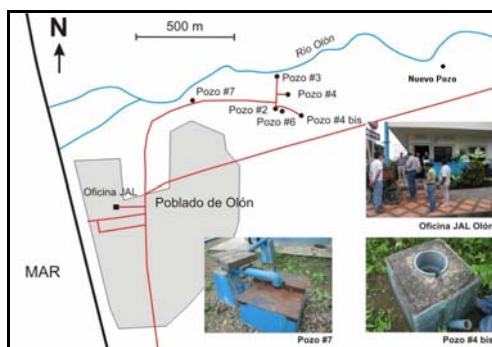


Figura 12. Campo de pozos de la JRAO

2. Para que no exista interferencia entre los pozos se propone que el bombeo se intercalado para que el pozo se pueda recuperar y evitar de esta manera que la intrusión marina avance.

3. Construir piezómetros de control en el núcleo de explotación para el monitoreo periódico de niveles, análisis químicos, ensayos de dilución, entre otros.

4. Construir un pozo en la parte Este del acuífero (Sector Los Ramírez) donde existen posibilidades de captación de agua dulce, para complementar la actual explotación de pozos existentes.

5. La población de las comunas que se benefician del líquido que distribuye la JRAO deben conocer e integrarse en la protección del acuífero, consumiendo solo el agua necesaria para uso doméstico para conseguir una correcta gestión del recurso.

10. Conclusiones y Recomendaciones.

10.1. Conclusiones

- La geoeléctrica, geología e hidrología, incidieron para determinar la geometría y parámetros hidrodinámicos e hidroquímicos imprescindibles en la propuesta de plan de explotación.

- Con las campañas geoeléctricas se definió preliminarmente la unidad acuífera de la cuenca del río Olón, constando de una terraza aluvial de espesores variables entre 10 y 40 m. Así mismo las reservas de la zona de estudio se estimaron en aproximadamente 1.3 millones de m³.
- De acuerdo a la clasificación que propone el IGME el acuífero de Olón es poroso-libre-costero, por lo cual presenta mayor riesgo de contaminación.
- El mejor lugar para la explotación del recurso es donde se encuentra el actual campo de pozos debido que en esa zona del sector el estrato de interés es de aproximadamente de 15 m.
- Con las pruebas de dilución que se realizaron en los pozos se determinó que la velocidad horizontal del acuífero hacia el mar es de aproximadamente 0.42 m/día.
- La superficie piezométrica se encuentra a una profundidad de 9 m desde la superficie, según el registro mensual de niveles.
- En la investigación hidrogeológica preliminar se estableció que el acuífero posee una permeabilidad de 1.6 m/día, transmisividad de 17 m²/día y porosidad del 20%.
- El recurso que se obtiene del acuífero y que distribuye la JRAO según la clasificación de Riverside es de salinidad media y bajo contenido de sodio.

10.2. Recomendaciones

- Realizar una nueva campaña de SEV en época de estiaje para correlacionarlos con la campaña que se llevó a cabo en esta tesis, la cual se llevó a cabo en época invernal (Lluviosa).
- Para obtener el balance hídrico en la cuenca del río Olón se debe realizar un inventario de pozos particulares y cálculo de las extracciones de agua subterránea por parte de la JRAO.
- Seguir efectuando periódicamente ensayos de dilución y medición de niveles en los pozos que pertenecen a la JRAO y también realizar estos ensayos en algunos pozos particulares para poder llevar un control de la recuperación y descensos del nivel de agua en el acuífero.
- Ejecutar una campaña de toma de muestras en los pozos particulares y en el río para análisis físico-químicos e isotópicos.
- Debido a que el acuífero es poroso-libre-costero y que el nivel piezométrico se

encuentra a 8 m.s.n.m., es posible que exista descarga del acuífero al mar.

- Reestructurar el Plan de Explotación cada dos años.

11. Agradecimientos

- Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- Organismo Internacional de Energía Atómica y en especial a los expertos internacionales Dr. Luís Toro y Dr. Tomas Vitvar.
- Proyecto: ECU/8/026: “Caracterización de Acuíferos de la Península de Santa Elena”.
- Proyecto: RLA/8/041: “Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros”.
- Programa de Desarrollo de la Península de Santa Elena en especial al MAP. Kléber Morán.
- Junta Regional de Agua de Olón.

12. Referencias

- [1] Romero P., Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el Sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche. ESPOL-FICT, 2002, 261 p.
- [2] MIDUVI, Informe Técnico de los Estudios de Prospección Geofísica, efectuado en el valle de Olón, perteneciente al cantón Santa Elena-Provincia del Guayas. 1997.
- [3] MIDUVI, Informe Técnico de los Estudios de Prospección Geofísica para la Investigación de aguas subterráneas realizados en las localidades de Olón Manglaralto y Carrizal (Regional Valdivia), Jurisdicción del cantón Santa Elena-Provincia del Guayas. 2004.
- [4] Montalván F., Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón para Propuesta de Plan de Explotación. ESPOL-FICT, 2002, 100 p.
- [5] Romero et al. Proceso de intrusión marina en acuíferos costeros. Revista Investigación y Desarrollo. ESPOL, 2008. Vol. 15, p. 48-50.
- [6] Carrión P., Estudio Geoambiental del Envejecimiento de Tuberías Metálicas. Aplicación a los Pozos de Agua. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1996, 397 p.
- [7] Toro Luís., Evaluación Hidrogeológica Preliminar de la Península de Santa Elena, Ecuador. Organismo Internacional de Energía Atómica, 2007, 26 p.