

# **Análisis de la Variación del Contenido Isotópico de Oxígeno-18 y Deuterio en el Acuífero de Manglaralto, Península de Santa Elena y Determinación de Patrones Locales para Mediciones por Espectroscopia Láser por Absorción**

Andrea Elizabeth Flores Zúñiga <sup>(1)</sup>, Ana María Melendres Palma <sup>(2)</sup>, Samantha Jiménez <sup>(3)</sup>, Paola Romero Crespo <sup>(4)</sup>  
Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales <sup>(1)(2)</sup>  
Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra <sup>(3)(4)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[andeflor@espol.edu.ec](mailto:andeflor@espol.edu.ec) <sup>(1)</sup>, [amelendr@espol.edu.ec](mailto:amelendr@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>, [sjimenez@espol.edu.ec](mailto:sjimenez@espol.edu.ec) <sup>(3)</sup>, [plromero@espol.edu.ec](mailto:plromero@espol.edu.ec) <sup>(2)</sup>

## **Resumen**

*Las técnicas isotópicas son en la actualidad herramientas muy utilizadas para el estudio de acuíferos. Este trabajo consiste en la caracterización isotópica e hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca Manglaralto mediante el análisis de la variación del contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno-18 y la evaluación de iones mayoritarios. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Isótopos Ambientales del Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), adjunto al Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales (ICQA), la técnica de análisis empleada fue la espectroscopia láser por absorción, el estudio consistió en la determinación del contenido isotópico en muestras consideradas como patrones locales, dichas muestras proceden de aguas empobrecidas, enriquecidas y con contenido intermedio en los isótopos en mención, las cuales fueron ajustadas a partir de los estándares internacionales VSMOW2, GISP y SLAP2, proporcionados por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), una vez determinados los patrones locales se realizó la caracterización isotópica de las muestras de agua de los pozos de Manglaralto, concluyendo que el agua del acuífero es enriquecida en isótopos pesados, lo que refleja un proceso de intrusión marina. La caracterización hidroquímica de las muestras de agua del acuífero indica que son del tipo bicarbonatada sódica, y son una mezcla de agua dulce de precipitaciones con agua salada de la intrusión marina.*

**Palabras Claves:** Deuterio, caracterización isotópica, caracterización hidroquímica, Oxígeno-18

## **Abstract**

*Isotopic techniques are actually widely used tools for the study of aquifers. This work consists of the isotopic and hydrochemical characterization of the groundwater basin Manglaralto by the analysis of the variation of the isotopic content of Deuterium and Oxygen-18 and the evaluation of major ions. Analysis were performed in the laboratory of the Center of Investigation and Projects Applied to the Sciences of the Earth CIPAT, attached to the Laboratory of Environment 2 of the Institute of Chemical and Environmental Sciences ICQA, the analysis technique used was laser absorption spectroscopy, the study consisted of determining the isotopic content in samples treated as local patterns, these samples come from impoverished waters, enriched waters, and with intermediate content in the isotopes in mention, which were adjusted based on international standards VSMOW2, GISP and SLAP2 provided by the International Atomic Energy Agency IAE, once determined the local patterns was performed the isotopic characterization of water samples from wells Manglaralto, concluding that the aquifer's water is enriched in heavy isotopes, reflecting a seawater intrusion process. The hydrochemical characterization of the aquifer water samples gave that is of the type sodium bicarbonate and is fresh water of the precipitation mixture with salt water of seawater intrusion.*

**Keywords:** Deuterium, isotopic characterization, hydrochemical characterization, Oxygen-18

## 1. Introducción

El agua subterránea es una importante fuente de suministro de agua en la provincia de Santa Elena, debido a la escasez de agua dulce y el acceso limitado al agua potable en las comunas de la región. [1] La Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto, administra siete pozos que permiten abastecer de agua a las comunas: Montañita, Nueva Montañita, Manglaralto, Río Chico, Cadeate, San Antonio y Libertador Bolívar, con un aproximado de 17.000 habitantes.

Dada la importancia que representan las fuentes de agua dulce en la provincia de Santa Elena es necesario tener conocimiento del comportamiento, características y factores externos que influyen en el agua de los acuíferos, ya que de esta manera se puede realizar una mejor gestión de los mismos.

La hidrología isotópica es un medio muy eficaz para evaluar la vulnerabilidad de las fuentes de agua subterránea, ya que las técnicas isotópicas son una herramienta que aportan con características únicas tales como posibles fuente de recarga natural o de contaminación. [2]

Los isótopos permiten entre otros aspectos, determinar el curso que ha seguido el agua, la rapidez con la que se mueve y el posible punto de recarga del sistema. Los isótopos ambientales comúnmente utilizados para estas técnicas son los isótopos estables Deuterio y Oxígeno-18 ya que son trazadores casi ideales. [3]

El propósito de esta investigación es **analizar la variación del contenido isotópico de Oxígeno-18 y Deuterio, y el contenido hidroquímico, en el agua de pozos de la Junta de Agua Regional de Manglaralto, en época seca y lluviosa**, para lo cual se realizó el análisis isotópico de las muestras procedentes de Tres Bocas, Playas y El Cajas, para determinar el contenido isotópico e implementarlas como patrones locales en el laboratorio de isótopos ambientales de CIPAT. A su vez, realizar la caracterización isotópica e hidroquímica del agua subterránea de la cuenca Manglaralto mediante el uso de patrones locales.

## 2. Ubicación de los puntos muestreados

Para la determinación de patrones se recolectaron muestras de contenidos isotópicos diferentes: General Villamil Playas para el contenido enriquecido, Recinto Tres Postes con contenido isotópico mediano y Parque Nacional Cajas para el contenido empobrecido.

El caso de estudio para la caracterización isotópica e hidroquímica de las aguas subterráneas, está

localizada en la Comuna Manglaralto, Provincia de Santa Elena.

**Tabla 1.** Codificación de Muestras para determinación de patrones locales.

Contenido Isotópico	Lugar	Código
Enriquecido	3Km. mar adentro (Gral. Villamil Playas)	HEAVY
Mediano	Tres Postes	CONTROL
Empobrecido	Parque Nacional Cajas	LIGHT



**Figura 1.** Ubicación de puntos muestreados

### 2.1 Patrones Locales

**Patrón Heavy.-** Se recolectó muestras 3km. mar adentro de Gral. Villamil Playas, se eligió esta zona debido a que el proceso de evaporación afecta en gran magnitud al agua de mar, empobreciendo la fase líquida en isótopos ligeros y enriqueciéndose en isótopos pesados. (Figura 2)



**Figura 2.** Variación del contenido isotópico en el ciclo Hidrológico.

**Fuente:** Aguasdecima S.A [4]

**Patrón Control.-** Se tomó muestra de aguas subterráneas del recinto Tres Postes en el cantón Alfredo Baquerizo Moreno, esta zona se escogió porque se encuentra en condiciones climáticas y

geográficas medias en relación a las otras muestras recolectadas para patrones locales. (Figura 2)

**Patrón Light.-** Se muestreó en el Parque Nacional Cajas ubicado sobre la cordillera occidental de Los Andes en la provincia del Azuay. Esta zona fue elegida debido a sus bajas temperaturas y la altitud a la que se encuentra ya que el agua en su desplazamiento hacia dentro del continente y a grandes altitudes se empobrece en isótopos pesados. (Figura 2)

### 3. Metodología

#### 3.1. Determinación de patrones locales.

**3.1.1. Trabajo de campo.** Consiste en las visitas técnicas a los sitios de interés que corresponden a Gral. Villamil Playas, Tres Postes y Parque Nacional Cajas donde se recolectaron aguas enriquecidas, medianas y empobrecidas en isótopos pesados respectivamente, tomando en cuenta las prácticas de campo generales para muestreo tanto como para aguas subterráneas como para superficiales. (Figura 3)

Los envases que se utilizaron para recolectar las muestras fueron canecas de 25 litros, de polietileno de alta densidad cerradas herméticamente para evitar que la muestra se evapore.



Figura 3. Trabajo de Campo para determinación de patrones locales

**3.1.2. Trabajo de laboratorio.** Consiste en el tratamiento, preparación y disposición de las muestra recolectadas para ser analizadas en el espectroscopio láser por absorción, por medio del cual se determinará el contenido isotópico de las mismas.

El análisis isotópico se realizó con el equipo de espectroscopia laser por absorción, por lo que fue necesaria la determinación de patrones locales a partir de los estándares internacionales VSMOW2, GISP y SLAP2 proporcionados por la OIEA.

Para el análisis de muestras en el equipo es necesario que la salinidad de las mismas esté por debajo de 0.4% y no presente turbidez, por lo que la muestra del patrón Heavy fue destilada para disminuir la salinidad, mientras que para la muestra del patrón

CONTROL se le realizó una filtración debido a la turbidez que presentó. Estos tratamientos no alteran el contenido isotópico de las muestras.

Las muestras para patrones locales junto con los estándares internacionales fueron colocadas en viales rotulados y dispuestos en bandejas según el arreglo diseñado por la Organización Internacional de Energía Atómica para la determinación de estándares con el equipo láser (figura 4); se configuró el equipo para que realice un total de 20 inyecciones para cada uno de los viales, realizando un total de 2530 inyecciones por cada corrida.



Figura 4. Arreglo de media bandeja proporcionado por la OIEA para la determinación de patrones locales.

Fuente: OIEA

**3.1.3. Trabajo de interpretación.** Consiste en el tratamiento y procesamiento de los datos extraídos del analizador de isótopos mediante un simulador creado por la OIEA para determinación de contenido isotópico de patrones locales.

### 3.2. Análisis de contenido isotópico en el Acuífero Manglaralto.

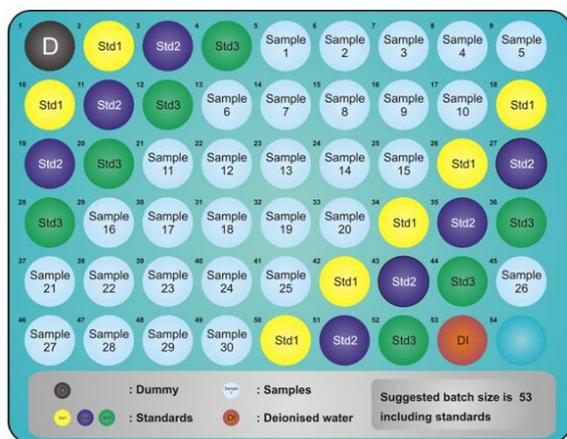
**3.2.1. Trabajo de campo.** Para la caracterización isotópica e hidroquímica del acuífero Manglaralto se realizaron dos campañas de muestreo, con un total de 26 muestras recolectadas. (Figura 5)



Figura 5. Muestreo en los pozos del acuífero Manglaralto

Paralelamente a la toma de muestras se realizó el análisis IN SITU de parámetros inestables como: temperatura, pH, conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos, haciendo uso de un equipo multiparamétrico, ya que la composición de estos parámetros puede variar durante el almacenamiento de la muestra y pueden alterar la calidad de resultados.

**3.2.2. Trabajo de laboratorio.** Las muestras fueron tratadas y analizadas con el mismo procedimiento que se consideraron para la determinación de patrones locales, con la diferencia que se utilizó un arreglo proporcionado por OIEA para el análisis de muestras varias (figura 6), basado en este arreglo se configura el equipo para que realice 6 inyecciones por cada vial. Se realizaron 4 corridas de 29 viales cada una, en las que se utilizaron los patrones determinados como los patrones de análisis.



**Figura 6.** Arreglo proporcionado por la OIEA para caracterización isotópica.

Fuente: OIEA



**Figura 7.** Trabajo de laboratorio para caracterización isotópica del acuífero Manglaralto.

Adicionalmente se realizaron análisis de iones mayoritarios ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) para la respectiva caracterización hidroquímica.

**3.2.3. Trabajo de interpretación.** Consiste en el tratamiento de los datos extraídos del analizador de isótopos mediante un simulador creado por la OIEA

para análisis de contenido isotópico de muestras, y así establecer la variación del contenido entre las temporadas seca y lluviosa. Al mismo tiempo los resultados de los análisis de iones mayoritarios son procesados con software o herramientas de análisis especializados para la elaboración de diagramas hidroquímicos.

## 4. Resultados

### 4.1. Determinación de Patrones

Los resultados obtenidos son el contenido de Deuterio y Oxígeno-18 de los nuevos patrones los mismos que se presentan en la tabla 2.

El contenido isotópico se denota con  $-\delta(\text{‰})$  que es la desviación con respecto a 1 del cociente de las relaciones isotópicas de la muestra a analizar y del estándar. Mientras este valor se acerque al CERO será más enriquecido en isótopos pesados. Los valores del contenido isotópico para los patrones locales se muestran en la tabla 2, los cuales se expresan como  $\delta$  (delta).

**Tabla 2.** Valores de Deuterio y Oxígeno para muestras patrones.

Muestras	$\delta^2\text{H}$ Valores (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ Valores (‰)
LIGHT	-72,722	-10,39
CONTROL	-24,01	-4,6567
HEAVY	-10,255	-1,7512

Una vez determinados los contenidos isotópicos de los patrones locales, las muestras fueron almacenadas en envases con capacidad 25 litros, de acero inoxidable, cerrado al vacío, con un dispensador para extracción de muestras; las características de estos envases evitan la evaporación, fraccionamiento isotópico, difusión o intercambio de agua con el ambiente.

### 4.2 Caso de Estudio: Acuífero Manglaralto

**4.2.1 Análisis de parámetros inestables medidos IN SITU.** Los parámetros analizados muestran una variación mínima en el paso de una campaña a otra como se observa en la Figura 8, por lo que se puede concluir que el cambio de época seca a lluviosa durante los meses muestreados no tuvo mayor incidencia en el contenido fisicoquímico del agua del acuífero.

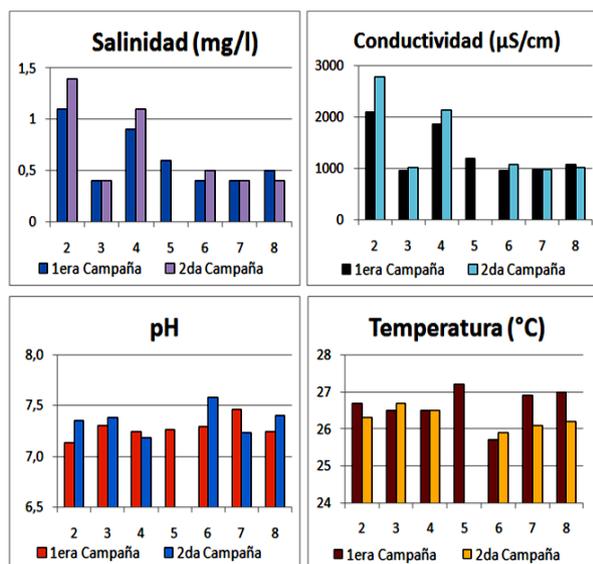


Figura 8. Variación de parámetros inestables en las campañas de muestreo.

#### 4.2.2 Caracterización isotópica del Acuífero Manglaralto. Los resultados obtenidos de la variación del contenido isotópico se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de Deuterio y Oxígeno-18 para caso de estudio: Acuífero Manglaralto

Muestra	$\delta^2H$ Valores Reportados	$\delta^{18}O$ Valores Reportados
<b>1<sup>era</sup> CAMPAÑA-ÉPOCA SECA</b>		
Pozo 2	-7,57	-2,20
Pozo 3	-7,83	-2,22
Pozo 4	-7,57	-2,26
Pozo 5	-9,16	-2,42
Pozo 6	-7,40	-2,10
Pozo 7	-10,21	-2,32
Pozo 8	-8,71	-2,23
<b>2<sup>da</sup> CAMPAÑA-ÉPOCA LLUVIOSA</b>		
Pozo 2	-7,46	-2,01
Pozo 3	-8,29	-2,15
Pozo 4	-7,37	-2,05
Pozo 6	-8,82	-1,84
Pozo 7	-9,64	-1,99
Pozo 8	-8,61	-1,73

Con el contenido de Deuterio y de Oxígeno-18 de las muestras de Manglaralto se elaboró la figura 9, con la finalidad de obtener la ubicación de esta agua con respecto a la Línea Meteorológica Mundial, con lo cual podemos observar que el contenido isotópico de los pozos es enriquecido en isótopos pesados, ya que los puntos graficados se encuentran cercanos a 0 (cero).

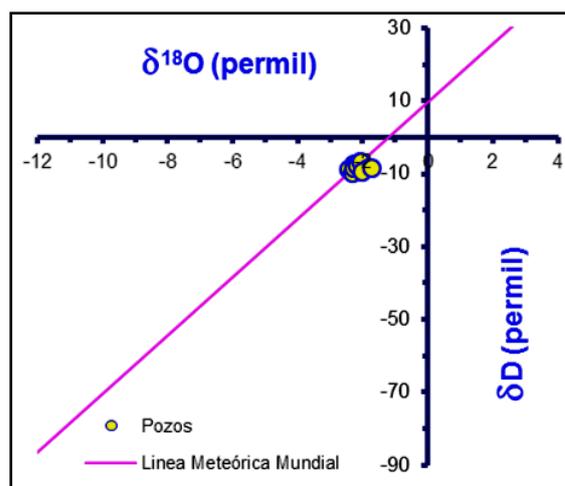


Figura 9. Ubicación de las muestras del acuífero de Manglaralto según su contenido de Deuterio y Oxígeno-18, usando como referencia la Línea Meteorológica Mundial.

Se elaboró gráficas comparativas de la variación de contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno-18, en las cuales se evidenció que la variación de estos contenidos entre las campañas realizadas es mínima (figura 10).

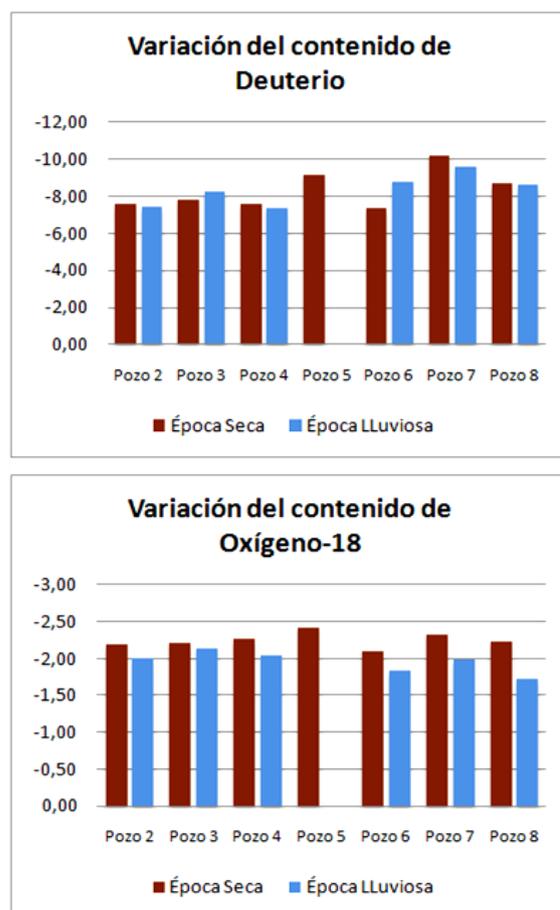


Figura 9. Variación del contenido de Deuterio y Oxígeno-18 en el acuífero Manglaralto en época seca y lluviosa.

Se puede observar un enriquecimiento de ambos isótopos en las muestras de la segunda campaña debido posiblemente a la intrusión marina o a la sobreexplotación de estos pozos. Sin embargo, en los pozos 3 y 6 se registró un ligero empobrecimiento de Deuterio, lo cual puede ser debido a la evaporación o dilución de las muestras durante el proceso de almacenamiento y preparación para análisis de laboratorio, o debido al proceso de análisis.

**4.2.3 Caracterización Hidroquímica del Acuífero Manglaralto.** Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos se realizaron los diagramas hidroquímicos de Stiff y Schoeller-Berkaloff.

Se procedió con el análisis de los diagramas de Stiff, tanto para la época seca como para la lluviosa, por cada punto muestreado, y se representó mediante un mapa de ubicación espacial (Figura 10), a partir del cual se obtienen los siguientes resultados:

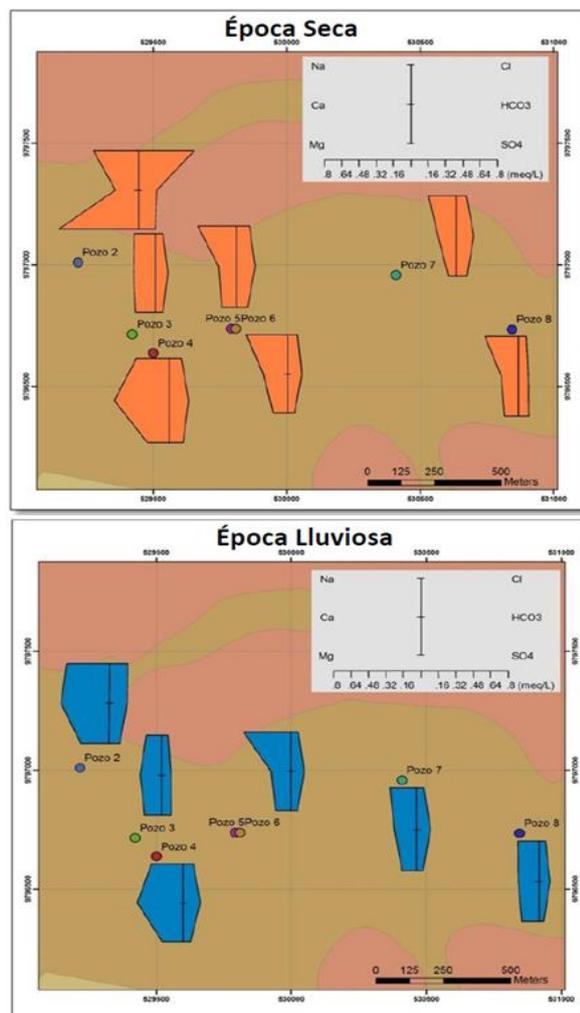


Figura 10. Distribución espacial de los diagramas de Stiff

El pozo 6 fue el único que presentó un aumento de concentración de iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) de la temporada seca a la lluviosa, lo que presuntamente se debe al

lavado de sedimentos de origen marino, o contaminación urbana. Los demás pozos presentaron empobrecimiento de este ión especialmente en los pozos 3 y 8 debido al agua lluvia infiltrada.

Se registró un aumento en el contenido de iones calcio en los pozos 2 y 8, la concentración de este ión está controlada por los procesos de dilución por aguas de precipitaciones o por el intercambio iónico con las rocas del acuífero. El pozo 4 es el que presenta una mayor dilución en el contenido de este ión, que se presume se debe a la infiltración de las aguas lluvia.

En los pozos 7 y 8 se puede visualizar el aumento de los iones magnesio, procedentes del lavado de rocas, de la disolución de calizas presentes en el suelo, y procesos de intercambio iónico.

En los pozos 3 y 6 se puede observar un aumento en la concentración de iones sulfato procedente posiblemente de la oxidación de sulfuros de las rocas y de la dilución del yeso. La infiltración de las precipitaciones registradas en la zona puede ser una de las principales causantes de la disminución de este ión en los demás pozos estudiados.

En el diagrama de Schoeller-Berkaloff (Figura 11) se puede observar que la tendencia del agua que se tiene en el acuífero es del tipo bicarbonatada sódica, debido a una mezcla entre el agua dulce con iones de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{HCO}_3^-$  proveniente de las precipitaciones junto con la intrusión marina con iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , sin embargo, el pozo 2 reveló tener un tipo de agua clorurada sódica debido a que es el pozo más cercano al mar.

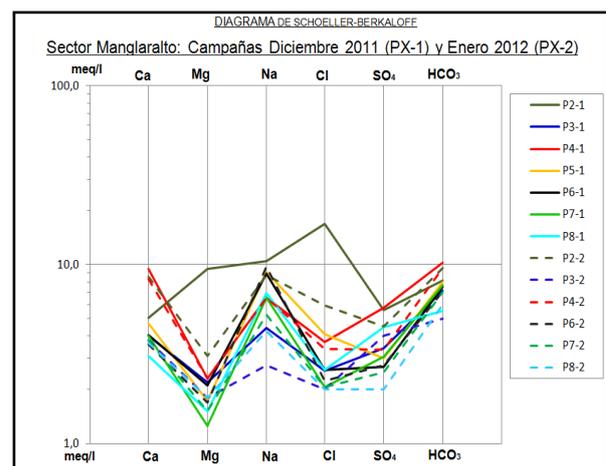


Figura 11. Diagrama de schoeller-Berkaloff de aguas del acuífero Manglaralto

### 4.3 Relación de resultados

Se elaboró gráficos comparativos de Deuterio vs Salinidad, y Oxígeno-18 vs Salinidad con los resultados obtenidos en el presente trabajo (Figura 12),

con lo que se evidencia que en los pozos 2 y 4 al incrementar la salinidad aumenta el contenido isotópico, generando una línea de mezcla con tendencia a enriquecerse isotópicamente conforme aumenta la salinidad (línea verde), mientras que para los demás pozos no existe una variación relevante de salinidad en ambas épocas.

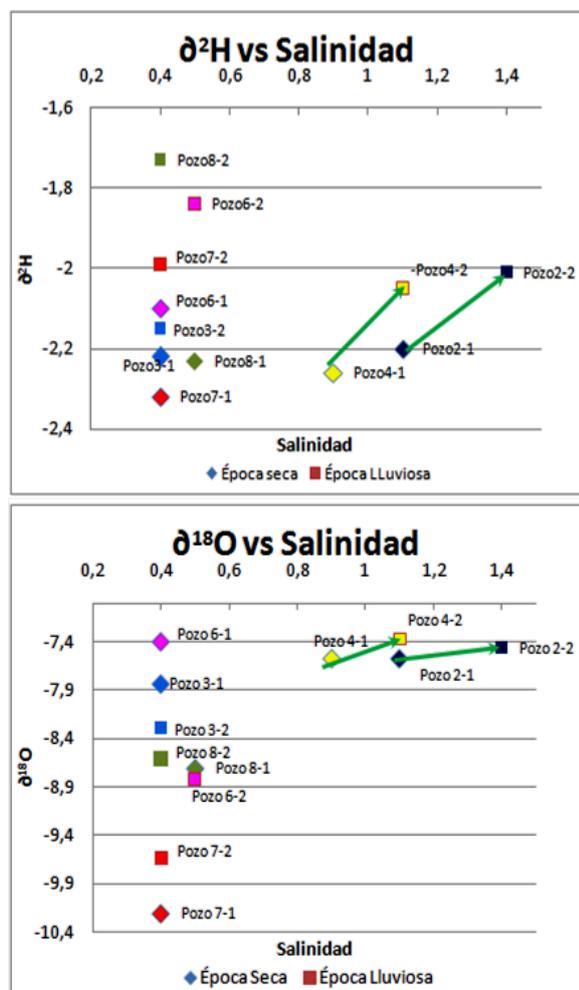


Figura 12. Gráficos Deuterio vs Salinidad, Oxígeno-18 vs Salinidad.

Fuente: Proyecto ECU/8/026

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos se tomó como referencia al proyecto ECU/8/026: “Caracterización de Acuíferos Costeros en la Península de Santa Elena” realizado en el año 2009 [5], para el que se registraron valores de conductividad eléctrica en relación a la profundidad de los pozos, datos de contenido isotópico de los pozos de la cuenca Manglaralto y contenidos isotópicos de precipitaciones de la Comuna Olón, localizada a 19 kilómetros de la Comuna Manglaralto.

En la caracterización isotópica de los pozos de la cuenca Manglaralto en el año 2009 se mostraron valores enriquecidos en isótopos pesados (Tabla 4), valores que son similares a los obtenidos en el presente

trabajo (Tabla 2), lo cual es un indicativo de tendencia de este acuífero a presentar valores enriquecidos en Deuterio y Oxígeno-18. A su vez, la caracterización del agua lluvia muestra contenidos empobrecidos en Deuterio y Oxígeno-18 en relación al contenido isotópico encontrado en el agua de los pozos.

Tabla 4. Caracterización isotópica de pozos de la Cuenca Manglaralto y aguas lluvia de Olón 2009

Muestra	Identificación	Tipo	$\delta^2H$	$\delta^{18}O$
ECU-1	Colector Olón	Lluvia	-42.3	-6.31
ECU-2	Colector Olón	Lluvia	-32.8	-5.42
ECU-4	Colector Olón	Lluvia	-43.0	-5.45
ECU-44	Manglaralto 1	Subterránea	-8.4	-2.25
ECU-46	Manglaralto 4	Subterránea	-10.1	-2.51
ECU-48	Manglaralto 5	Subterránea	-9.7	-2.42
ECU-50	Manglaralto 7	Subterránea	-12.6	-2.39

Fuente: Proyecto ECU/8/026

Debido a que Manglaralto posee condiciones climáticas similares a las de Olón se presume que el contenido isotópico de las precipitaciones de ambas zonas sea parecido. En base a esto podemos inferir que el carácter enriquecido en Deuterio y Oxígeno-18 del acuífero Manglaralto no se debe a la infiltración de precipitaciones, pero si a la mezcla de estas con la intrusión marina, siendo esta última la más rica en isótopos pesados.

Se elaboraron registros de conductividad eléctrica vs profundidad con datos correspondientes al año 2009 (Figura 13), con lo que se evidencia una zona de mezcla en el pozo 1 y 2 a partir de los 16 hasta los 22 metros de profundidad, ya que entre esos valores se observa un aumento brusco en la conductividad eléctrica debido a la interfase ocasionada por la mezcla de agua dulce con la intrusión marina a estas profundidades.

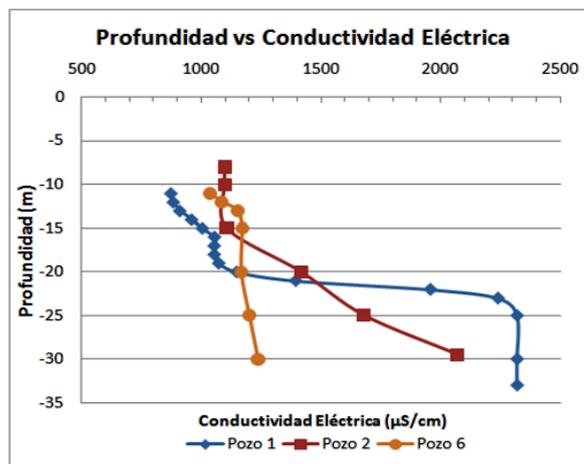


Figura 13. Diagrama Profundidad Vs Conductividad - 2009

Fuente: Proyecto ECU/8/026

## 5. Conclusiones

Los valores medidos del contenido isotópico de los **patrones locales** presentan **alta confiabilidad** debido a que la desviación estándar de los contenidos de Deuterio son inferiores a 2‰ y los de Oxígeno-18 son inferiores a 0.3‰, los mismos que fueron determinados a partir de los **estándares internacionales** VSMOW2, GISP y SLAP2, proporcionados por OIEA.

El **Patrón LIGHT**, procedente de agua del Parque Nacional Cajas, presenta un contenido isotópico de -72.72 de  $\delta D$  y -10.39 de  $\delta^{18}O$ , considerado como **empobrecido** en isótopos pesados; El **patrón HEAVY**, procedente de Gral. Villamil Playas, con contenido isotópico de -10.25 de  $\delta D$  y -1.75 de  $\delta^{18}O$ , es el **enriquecido** en contenido isotópico; y el **patrón CONTROL**, procedente del recinto Tres Postes, con contenido isotópico de -24.00 de  $\delta D$  y -4.65 de  $\delta^{18}O$ , presenta valores **medianamente enriquecidos**, por lo que se lo considera como patrón de calibración.

La caracterización isotópica realizada permitió clasificar al acuífero como **enriquecido en isótopos pesados**, debido a que se encuentran en la zona costera y por ende reciben infiltraciones de agua de mar siendo esta la más rica en isótopos.

Las gráficas de comparación del **contenido isotópico** de los acuíferos en las dos campañas de muestreo, permitieron identificar un **aumento mínimo** en la cantidad de isótopos pesados, **debido a la intrusión marina**, ya que no se cuenta con la caracterización isotópica de las precipitaciones, y por lo tanto no se puede asegurar que existe infiltración superficial.

Para la **caracterización hidroquímica** realizada en los pozos de la cuenca Manglaralto se elaboraron **diagramas de Stiff**, evidenciando que el pozo 2 registró un aumento considerable de calcio, de 5,04 a 8,6 meq/l, que puede ser producto del intercambio iónico con el exceso de sodio proveniente del agua de mar, lo que sustentaría que existe intrusión marina en el mismo.

Como parte de la caracterización hidroquímica se elaboró un diagrama de Schoeller-Berkaloff que permitió clasificar al **agua** de este acuífero como **bicarbonatada sódica**, debido a la mezcla de agua proveniente de las precipitaciones con el agua de mar.

El **pozo 2**, que se encuentra más cercano al mar, tiene **agua del tipo clorurada sódica**, debido al proceso de intrusión marina, donde estos iones están presentes en grandes cantidades en el agua de mar.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a la Junta de Administradora de Agua Potable – Regional Manglaralto, al Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA, al Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales ICQA, y al Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT por la ayuda brindada.

## 7. Referencias

- [1] Payne, P. R. *Variaciones de los isótopos ambientales: aplicación al estudio de un acuífero subterráneo del Ecuador*. Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). 1979. Vol. 21. N°1.
- [2] Betancur, T. *Técnicas hidroquímicas e isotópicas para la validación de modelos hidrogeológicos*. Hidrogeología para la Gestión del Recurso Hídrico (págs. 75 - 85). Colombia: Universidad de Antioquía, 2008
- [3] Mook W. G. *Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. Principios y Aplicaciones*. Custodio, Emilio (sup.); Ramajo, Hipólita (trad.); Custodio, Javier (comp.). Serie N°1. Madrid: IGME, 2001. ISBN: 84-7840-465-1
- [4] *El Ciclo del Agua*. Aguasdecima. 16/11/2011. [http://www.aguasdecima.cl/?page\\_id=88](http://www.aguasdecima.cl/?page_id=88)
- [5] Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT). 2009. ECU/8/026: “*Caracterización de Acuíferos Costeros en la Península de Santa Elena*”. Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra, Guayaquil.

---

Paola Leonor Romero Crespo. PhD,  
Visto bueno de la Directora de Tesis  
Fecha: 21/05/2012

---

Andrea Elizabeth Flores Zúñiga  
Tesis ICQA

---

Ana María Melendres Palma  
Tesis ICQA