

**ANÁLISIS ISOTÓPICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN  
DEL URABÁ, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA.**

**Environmental Hydrogeology  
Water Resources Engineering Graduate Program  
Leonardo David Donado Garzon**

**Presentado por: Jaime Andrés Castañeda Gantiva**

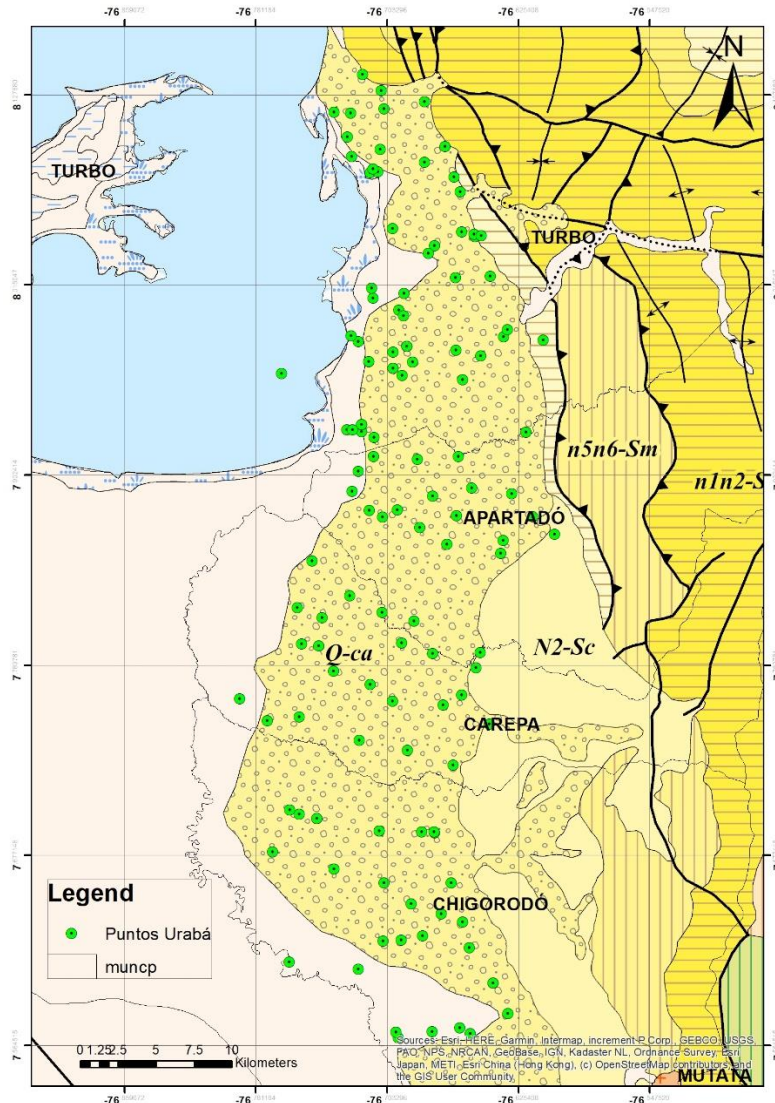
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
Bogotá, Junio 2022**

## Contents

1. Introducción .....	2
2. Metodología .....	3
3. Composición Isotópica de la precipitación .....	6
4. Isótopos estables en el agua subterránea .....	10
5. Referencias.....	14

### 1. Introducción

El área de estudio proporcionada para el desarrollo del presente análisis se encuentra en el departamento de Antioquia, jurisdicción de los municipios de Turbo, Chigorodó, Carepa y Apartadó dentro de la Región del Urabá. (CORPOURABA, 2012) describe que la geomorfología entorno al Golfo de Urabá presenta una sección de piedemonte desde la serranía de Abibe que continúa al oeste con abanico fluvial y la llanura aluvial del Río León. Esto también es identificado en las unidades Cronoestratigráficas del Atlas Geológico Colombiano en la plancha 79-Turbo. Las unidades representativas para el área de estudio son los Abanicos aluviales y depósitos coluviales Q-ca y los Depósitos aluviales y de llanuras aluviales Q-al, ambos con edad del Cuaternario (SGC, 2015). Según (INGEOMINAS, 1995), citado por (Villegas, 2013), dichos depósitos cuaternarios han sido caracterizados como un acuífero libre.



**Figura 1. Geología de la zona de estudio.**  
Fuente: Adaptado de (SGC, 2015)

## 2. Metodología

Como insumo principal para este trabajo, se utilizó la base de datos “*Resultados Isótopos Urabá*” la cual presenta los resultados de laboratorio del contenido isotópico de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  para una serie de muestras de lluvia y de puntos de muestreo subterráneo en torno al golfo de Urabá, los datos se presentan como el delta ( $\delta$ ) de desviación en (%) sobre la referencia V-SMOW (Gröning et al., 2006) .

Con relación a los datos de lluvia, se utilizaron datos de precipitación mensual e isótopos estables del agua ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) desde el periodo marzo de 2008 a junio de 2012. Se identificaron 4 estaciones totalizadoras ubicadas alrededor del golfo de Urabá como se muestra en la Figura 2 (no se recibieron las coordenadas de la

estación *Chigirodó-La Trampa*). La cantidad de datos provenientes del análisis de muestras de lluvia se distribuyen entre los totalizadores como se muestra en la Tabla 1.

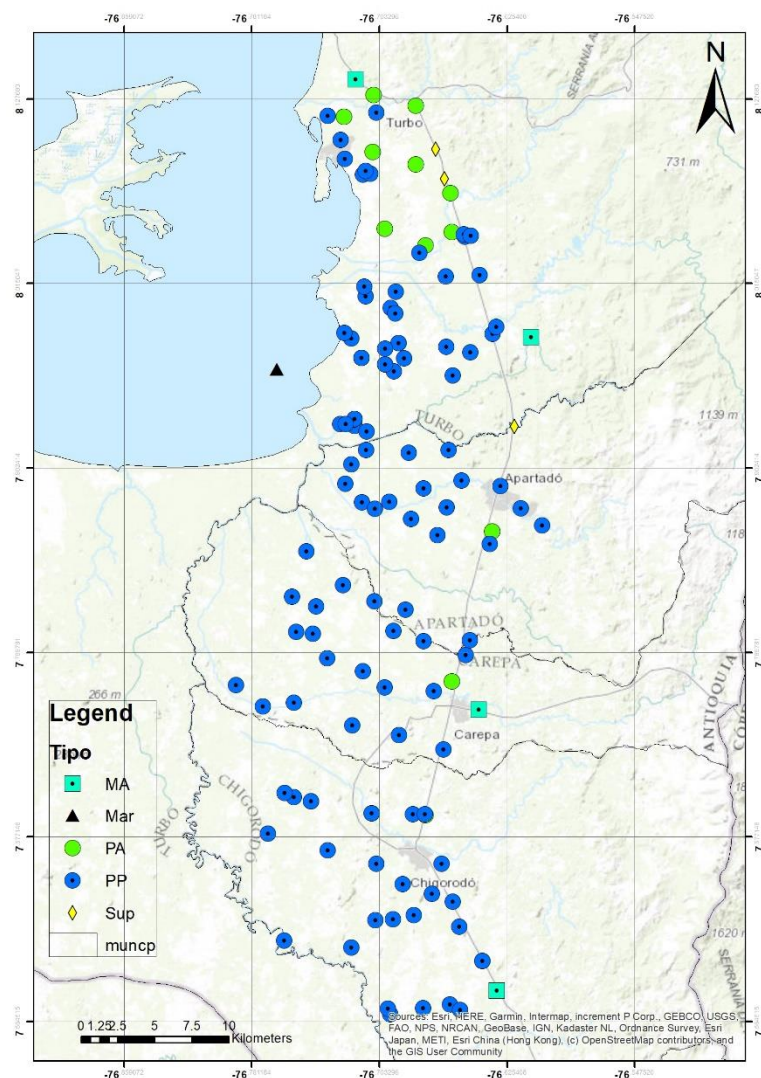
**Tabla 1.** Cantidad de datos de isótopos de lluvia.

Estación	Periodo	No. de datos	Altitud (m.s.n.m)
Chigirodó-La Trampa	01/05/11 - 31/05/12	13	100
Lomas Aisladas-Turbo-EI 40	01/05/11 - 31/05/12	13	25
Makaira	01/03/08 - 30/06/12	43	40
Turbo-Astillero Casanova	01/05/11 - 30/06/12	14	1
<b>Total</b>		<b>83</b>	



**Figura 2.** Localización totalizadores de precipitación.

Así mismo, se recibieron en total 179 puntos de muestreo de agua subterránea para los años 2008 a 2012. Sin embargo, se utilizaron sólo aquellos con datos de isótopos estables  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ . Las 127 muestras a utilizar se clasifican en 4 MA - Manantiales, 1 de Mar, 12 PA – Pozos Artesanos, 107 PP – Pozos Profundos y 3 Superficiales, cuya distribución geográfica se ilustra en la Figura 3.

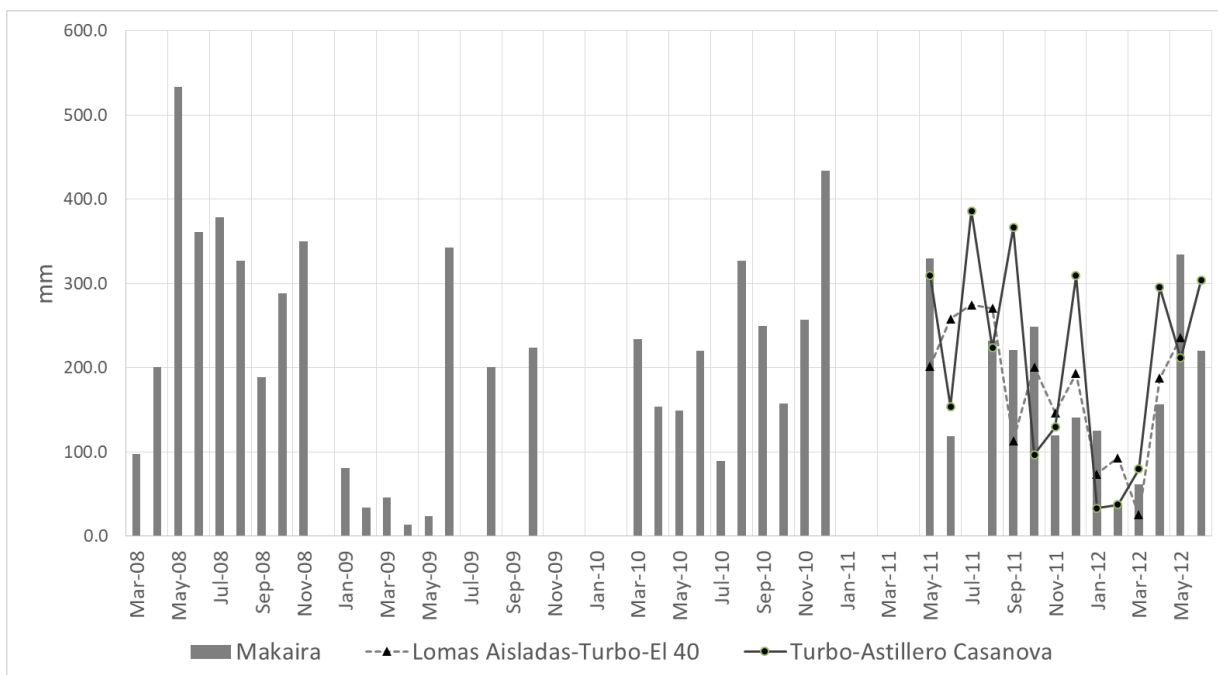


**Figura 3.** Localización muestras de Agua Subterránea

Con la información suministrada se procedió a realizar el análisis isotópico para la zona de estudio, el cual se centró la construcción de la Línea Meteorica Local y una posterior comparación de la misma con el registro isotópico de las muestras de agua subterránea para así analizar su conexión y los posibles procesos ambientales presentes.

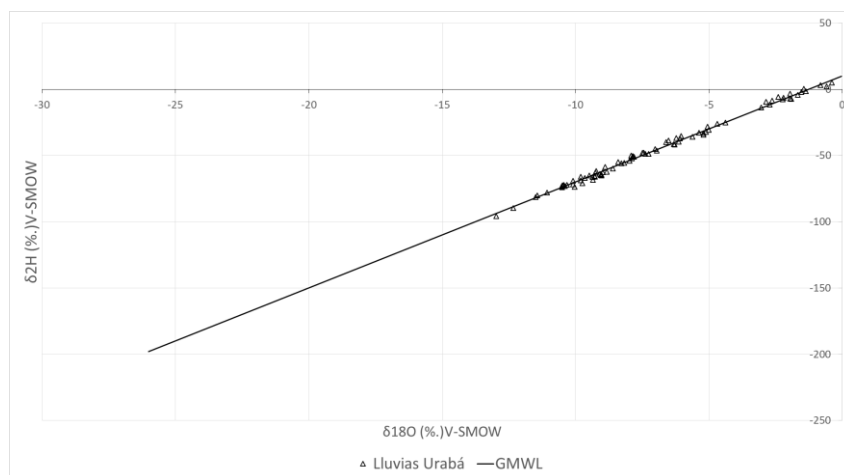
### 3. Composición Isotópica de la precipitación

En primera instancia se analiza el comportamiento de las lluvias en la zona para el periodo de estudio, representado en mayor medida por los datos de la estación Maikara desde el año 2008. En términos generales, se muestra mayor precipitación para los años 2008 y 2010 con picos de 500 y 434 mm respectivamente (Figura 4). De acuerdo con (Villegas, 2013), el aumento de las precipitaciones para dichos años se debió a la presencia del Fenómeno de la Niña en el país. Destacan también los valores bajos para los meses entre enero y mayo de 2009 e inicios del año 2011, los cuales tuvieron a su vez influenci por parte del Fenómeno del Niño.



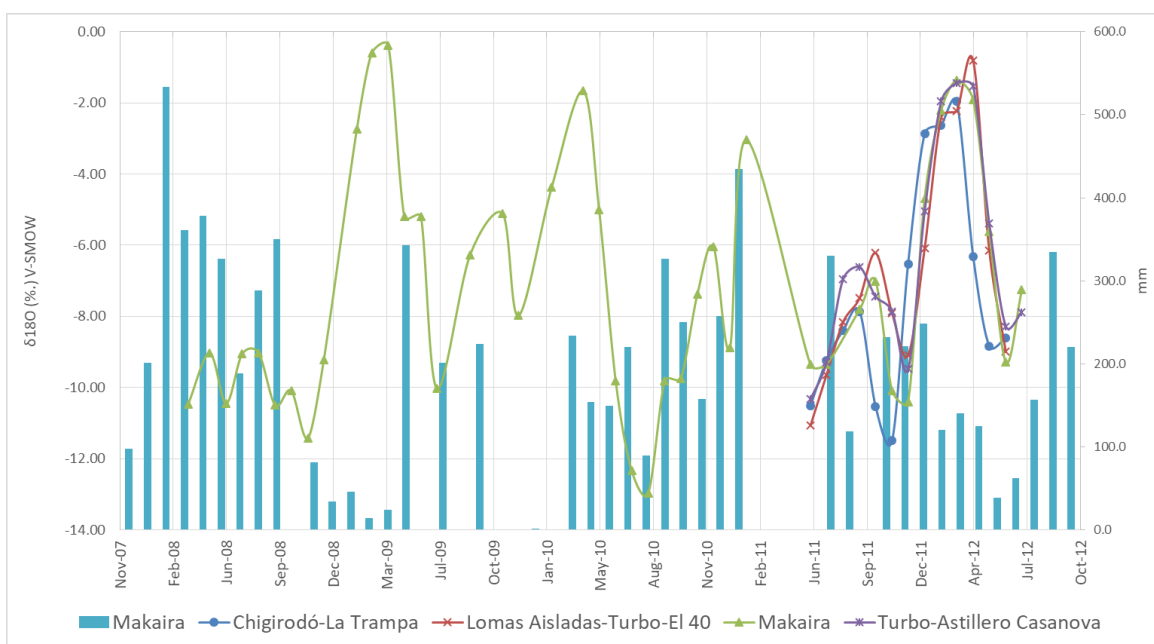
**Figura 4.** Series de Precipitación Mensual Urabá 2008-2012

A continuación se graficaron sobre las series de precipitación los resultados de laboratorio para oxígeno 18 y deuterio en las muestras de lluvias para la zona (Figuras 6 y 7). Los valores de  $^{18}\text{O}$  se encuentran en el rango de -0.39 a - 12.9 y para el  $^2\text{H}$  entre 5 a - 95.8 lo que permite ver un comportamiento esperado para precipitaciones del trópico como se observa en la Figura 5 respecto a la y sobre la Línea meteórica Global – GMWL descrita por (Craig, 1961).



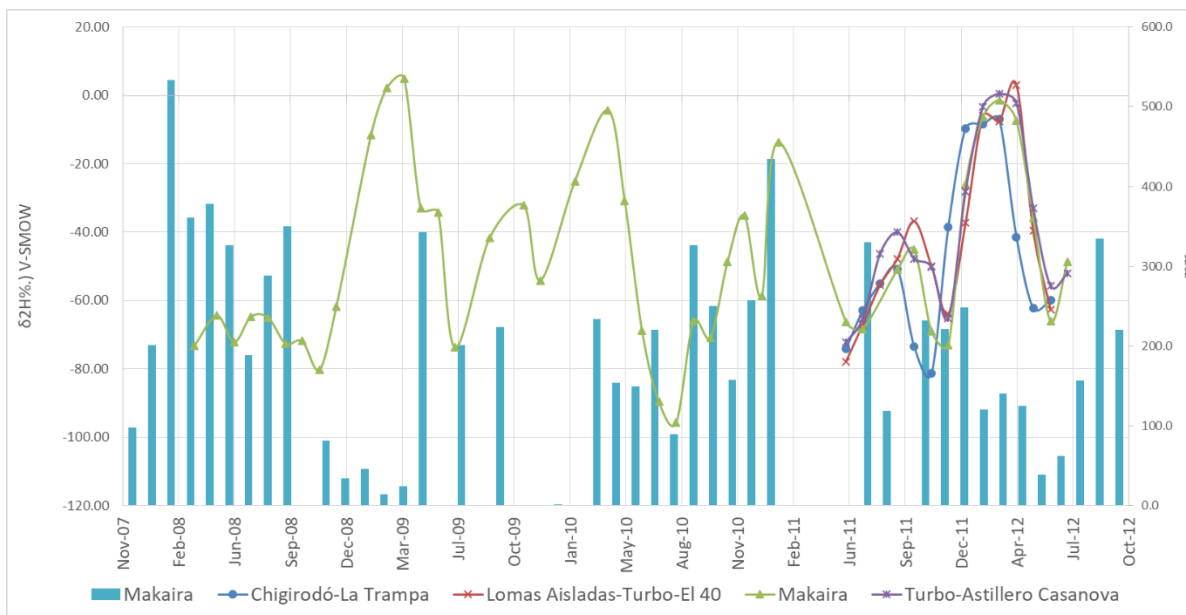
**Figura 5.** Registro Isotópico llluvias Urabá sobre la GMWL

Para los dos isótopos analizados se presenta una relación inversamente proporcional entre la precipitación y la desviación isotópica, encontrando los valores de mayor desviación durante los meses de mayor precipitación y los valores de menor desviación en los periodos secos. Lo anterior puede deberse a la relación que existe entre la temperatura ambiente, las llluvias y el fraccionamiento isotópico, donde los periodos de lluvia presentan una menor temperatura ambiente, lo cual genera un menor enriquecimiento en isótopos pesados (Villegas, 2013).



**Figura 6.** Variación del  $\delta^{18}\text{O}$  con relación a la precipitación.



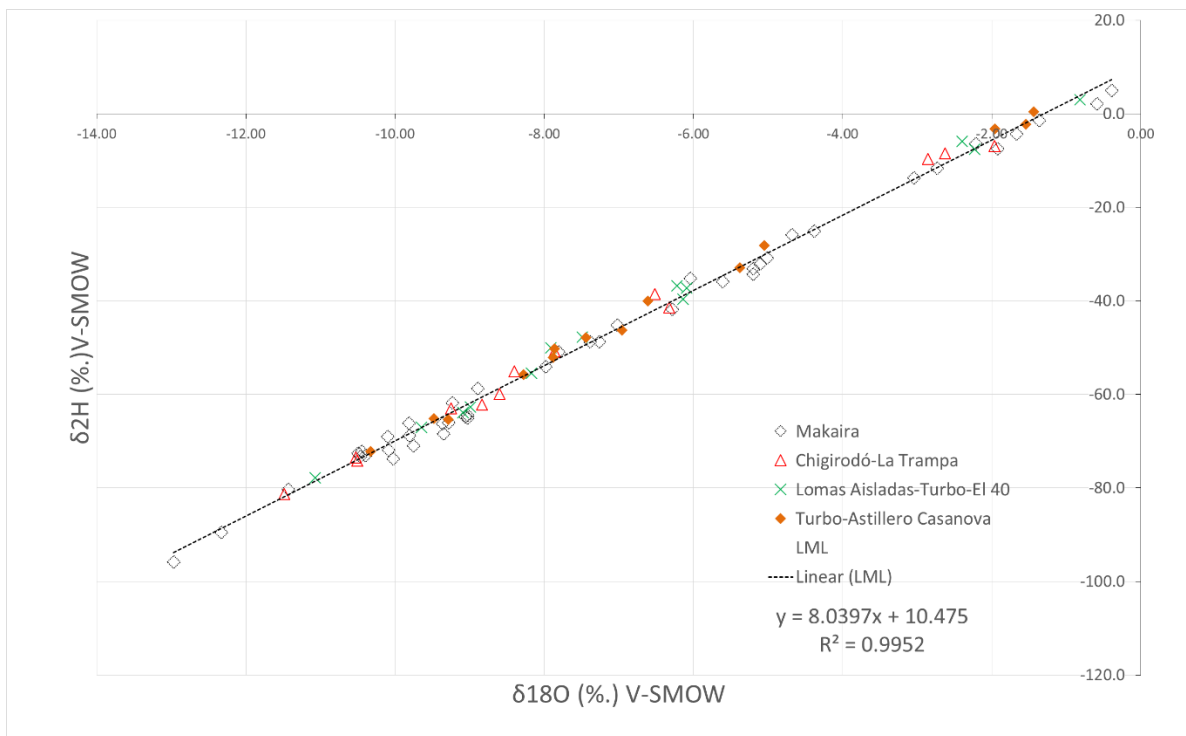


**Figura 7.** Variación del  $\delta^2\text{H}$  con relación a la precipitación.

Con estos datos se construyó la Línea Meteorica Local para la zona del Urabá (Figura 8), encontrando la ecuación  $\delta^2\text{H} = 8.0397 \delta^{18}\text{O} + 10.475$  que presenta valores ligeramente menores de pendiente e intercepto comparados con los de la Línea Meteorica para Colombia  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 9.6$  (Rodríguez, 2004) y la Línea Meteorica Global  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$  (Craig, 1961).

Por otra parte, se calcularon los valores medios ponderados de contenido isotópico y exceso de deuterio sobre cada estación. El exceso de deuterio presenta un valor promedio aproximado de 11 para todas las estaciones con excepción de Makaira con 9.5 (Tabla 2). Los  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  medios ponderado fueron calculados para cada estación de forma anual y se presentan en la Tabla 3, donde se observan diferencias importantes entre diferentes periodos de una misma estación como es el caso de Makaira que presenta un empobrecimiento significativo en los primeros años.





**Figura 8.** Línea Meteorica Local – Urabá

**Tabla 2.** Exceso de Deuterio promedio

Estación	d (promedio)
Chigirodó-La Trampa	10.9
Lomas Aisladas-Turbo-El 40	10.9
Makaira	9.5
Turbo-Astillero Casanova	11.1

**Tabla 3.** Valores medios ponderados de desviación isotópica

Estación	Año	$\delta^{18}\text{O}$ Ponderado	$\delta^2\text{H}$ Ponderado
Lomas Aisladas-Turbo-El 40	2011	-8.31626	-55.4226
Lomas Aisladas-Turbo-El 40	2012	-5.97258	-37.8422
Makaira	2008	-9.89078	-69.2383
Makaira	2009	-6.51846	-44.2807
Makaira	2010	-8.23725	-55.3984
Makaira	2012	-7.6731	-51.614
Turbo-Astillero Casanova	2011	-7.62851	-49.9855
Turbo-Astillero Casanova	2012	-6.2179	-39.1314

#### 4. Isótopos estables en el agua subterránea

Como se mencionó, los puntos de muestreo de agua (principalmente aguas subterráneas) se clasificaron según el tipo de estructura en campo. A continuación se hace una descripción de los datos obtenidos para cada una de ellas.

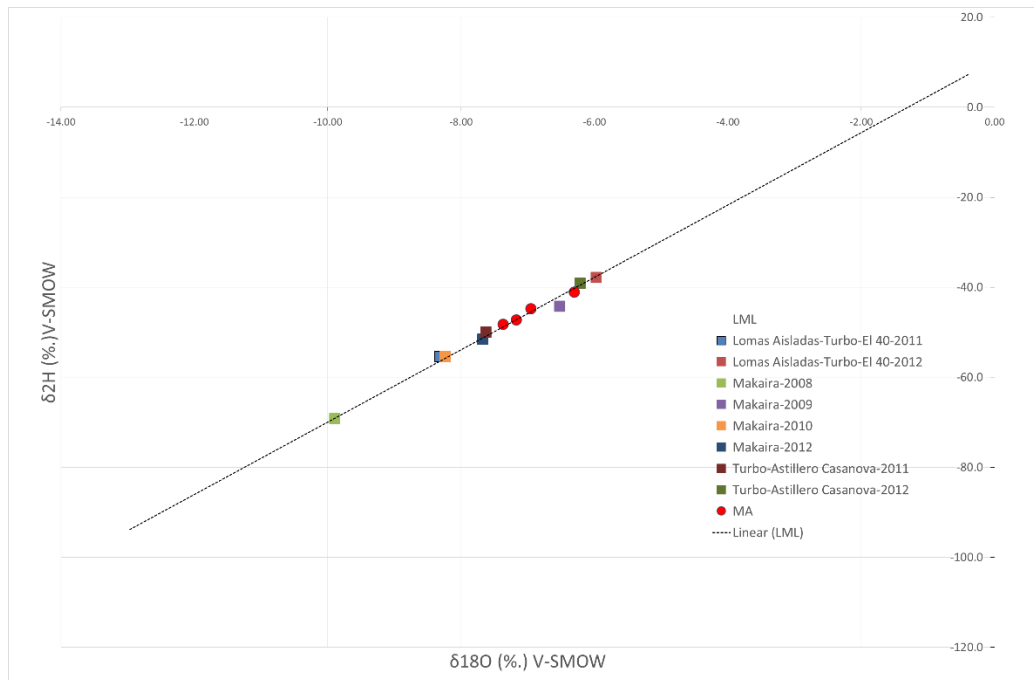
Los manantiales presentaron un rango de valores para  $\delta^{18}\text{O}$  de -7.37 a -6.30 y para  $\delta^2\text{H}$  entre -48.3 y -41.1; los valores promedio fueron -6.95 y -45.36 respectivamente. No se reportaron datos de profundidad.

La muestra de mar mostró valores cercanos a cero (-1.21  $\delta^{18}\text{O}$  -9.7  $\delta^2\text{H}$ ), comportamiento normal teniendo en cuenta que los resultados de laboratorio están basados en la desviación que existe con el estándar V-SMOW donde el cero se ubica en el agua de mar (Gröning et al., 2006). Por su parte el agua superficial (3 muestras) presentó valores entre -7.84 y -7.42 para  $\delta^{18}\text{O}$ , así como -54.4 y -49.9 para  $\delta^2\text{H}$ .

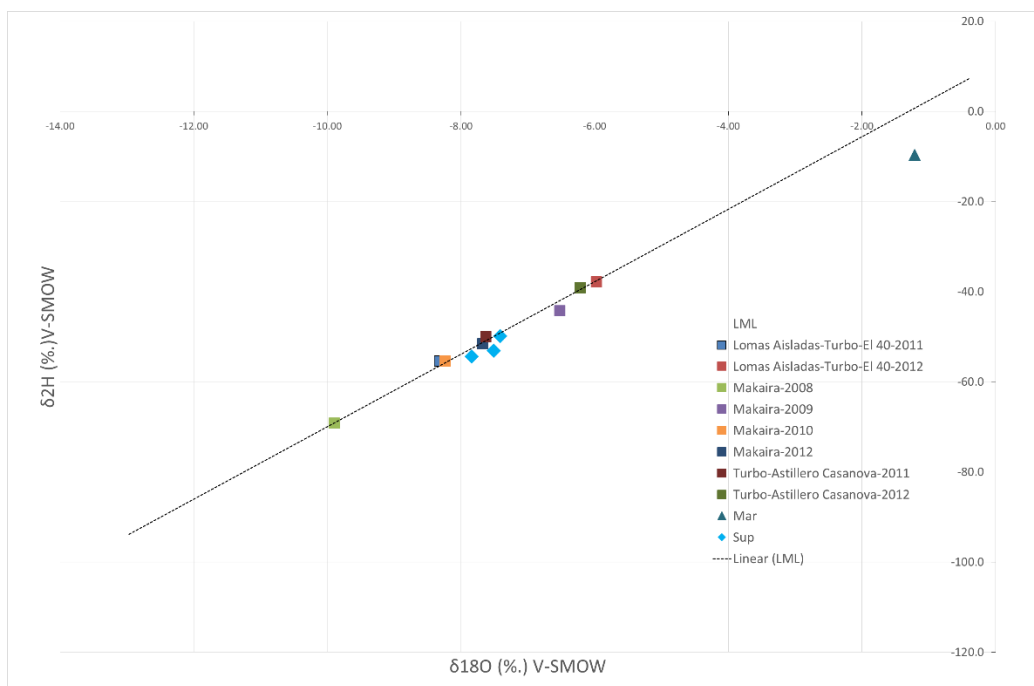
Respecto a las muestras de agua subterránea, los 12 puntos para Pozos Artesanos obtuvieron rangos de -7.24 y -5.15, -49.7 y -35.5 con medias de -6.37 y -42.51 para  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  respectivamente; no se reportaron datos de profundidad.

Por su parte, los 107 datos de Pozos Profundos mostraron un promedio de  $\delta^{18}\text{O}$  del -7.73 dentro del rango -9.14, -5.75. Igualmente para  $\delta^2\text{H}$  el promedio fue de -52.90 dentro del rango -68.4 a -39.4. Los valores de profundidad mínima de los pozos se presentan entre los 6 y los 99 metros, y la máxima entre 31 y 187 metros, siendo 27 las muestras que no reportan datos de profundidades. Se aprecia que gran parte de los valores más empobrecidos en isótopos corresponden a los pozos con mayores profundidades, sin embargo no existe una tendencia marcada en este comportamiento.

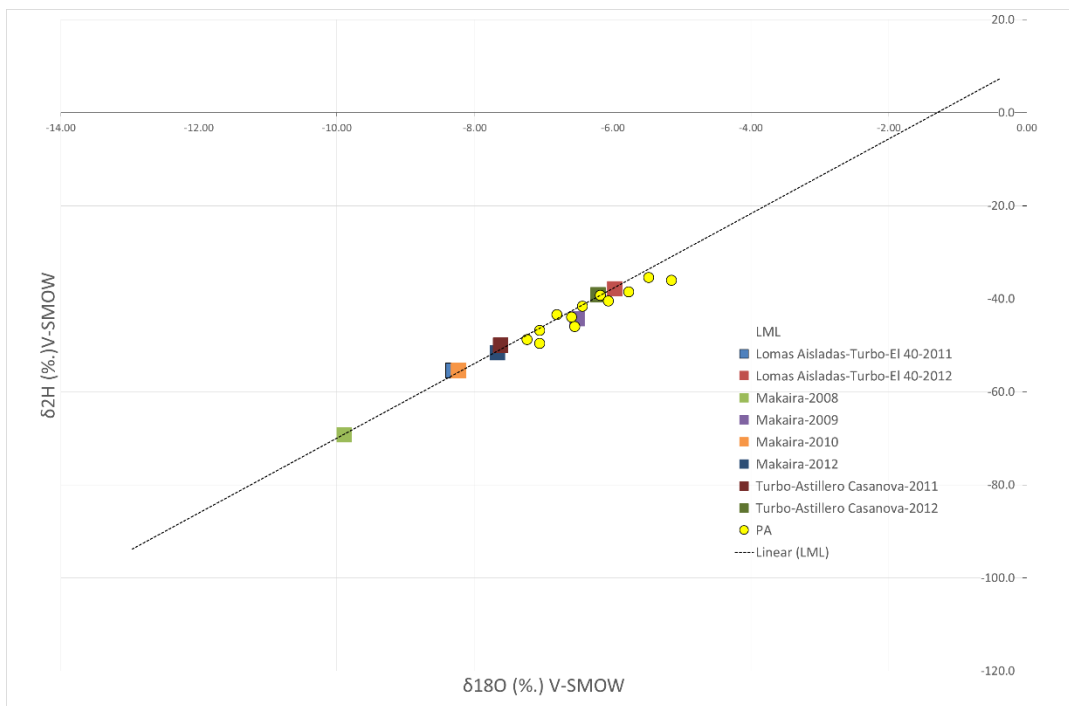
Finalmente, se compararon los registros isotópicos de las muestras tomadas con la LML y los promedios ponderados obtenidos para cada una de los totalizadores de aguas lluvias implementadas, obteniendo así las Figuras que se presentan a continuación para cada tipo de unidad analizada.



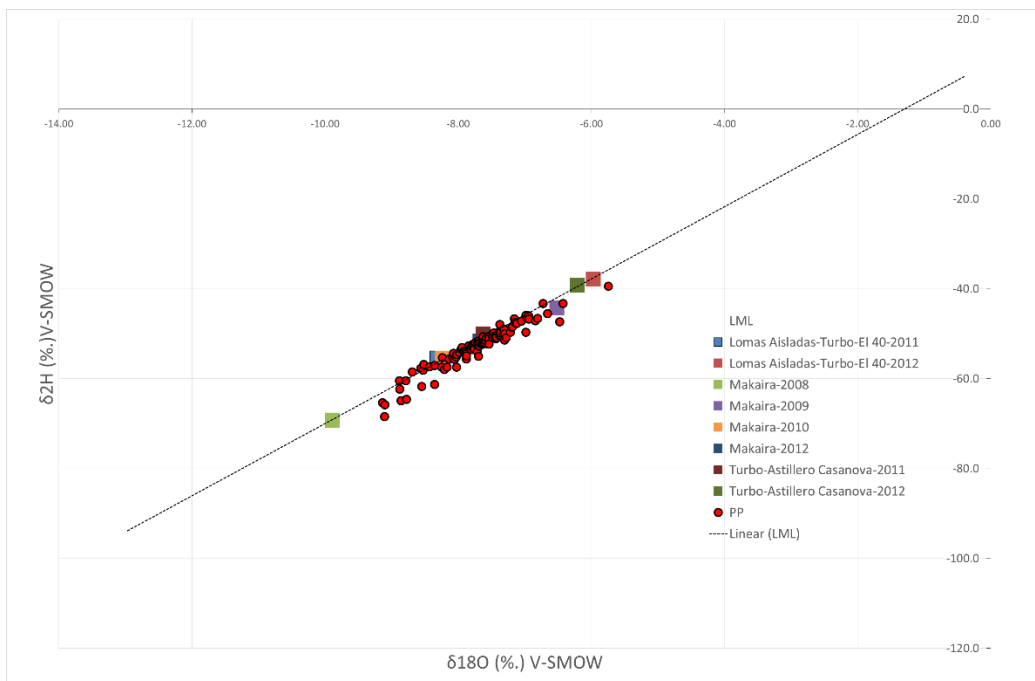
**Figura 9.** Resultados análisis isotópico de manantiales



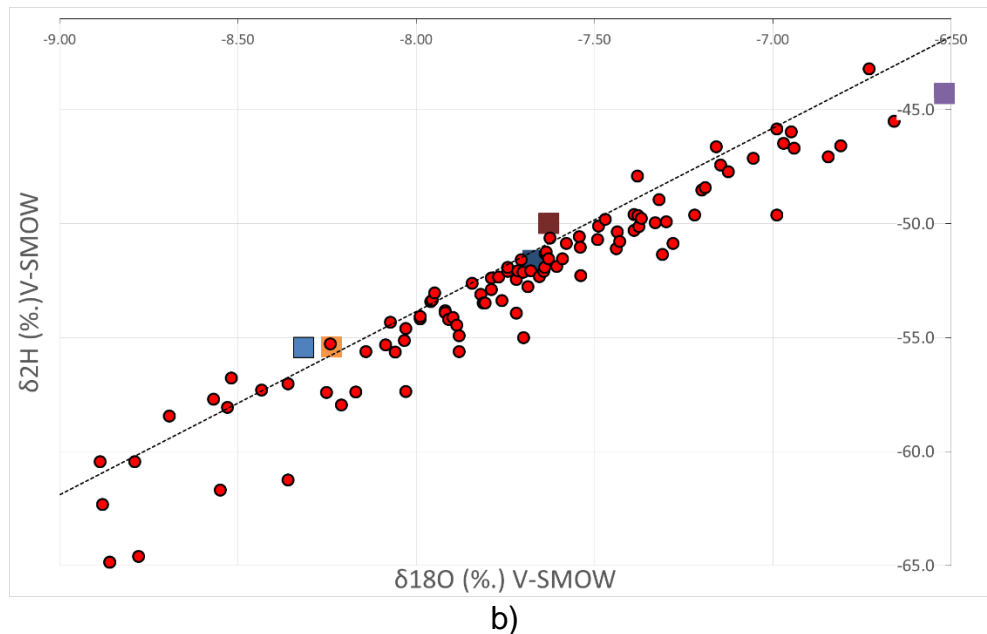
**Figura 10.** Resultados análisis isotópico de aguas superficiales



**Figura 11. Resultados análisis isotópico de Aljibes**



a)



**Figura 12.** Resultados análisis isotópico de Pozos Profundos.  
a) Vista general b) acercamiento al conjunto de datos

Como ya se había mencionado se destaca el empobrecimiento que presenta la estación Makaira en todo el periodo de análisis y de acuerdo con el análisis realizado por (Villegas, 2013), en general, de toda el agua lluvia. Dicho empobrecimiento, según el autor, ocurrió debido a la fuerte influencia que tuvo en el fraccionamiento las anomalías en las precipitaciones (aumento) producto del Fenómeno de la Niña de los años 2008, 2010, 2011 y 2012.

Sin embargo, se analiza que las aguas de los manantiales analizados se encuentran dentro del registro presentado por las aguas lluvia; los Aljibes, aunque se ubican en su mayoría dentro del registro de las lluvias locales, presentan algunos datos con valores más enriquecidos a los ponderados de los totalizadores. Finalmente los Pozos profundos analizados muestran valores más enriquecidos que la mayoría de las estaciones, exceptuando Casanova para los años 2011 y 2012.

Aunque los datos muestran un registro isotópico similar entre el agua de precipitación y las agua subterráneas analizadas, no es posible determinar con certeza la relación directa de recarga al acuífero por medio de las precipitaciones locales. Existe la posibilidad de que la recarga ocurra en zonas más altas de la cuenca debido al empobrecimiento generalizado que presentan los pozos, pero se necesitarían otros análisis (Análisis Hidrogeoquímico y datación con  $^{14}\text{C}$ ) para corroborar dicha hipótesis.

## 5. Referencias

- CORPOURABA, C. P. E. D. S. D. U. (2012). *PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL Versión 02 2012-2024*.
- Craig, H. (1961). Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133(3465), 1702–1703. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.133.3465.1702>
- Gröning, M., Duren, M. van, & Andreescu, L. (2006). *Metrological Characteristics of the Conventional Measurement Scales for Hydrogen and Oxygen Stable Isotope Amount Ratios: The  $\delta$ -Scales*. 62–72. <https://doi.org/10.1039/9781847557582-00062>
- INGEOMINAS. (1995). *Evaluación del agua subterránea en la región de Urabá*.
- Rodriguez, C. (2004). Línea meteórica isotópica de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 8, 43–51.
- SGC, S. G. C. (2015). *Atlas Geológico de Colombia*.
- Villegas, P. (2013). *CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA DEL ACUÍFERO DEL GOLFO DE URABÁ, UTILIZANDO 2H, 18O, 14C Y 13C*.