

**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN EL MUNICIPIO AYAPEL, CÓRDOBA.**



**JOSE ALFREDO CARREÑO ACOSTA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
MONTERÍA, CÓRDOBA**

**2017**

**EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS  
SUBTERRÁNEAS EN PERIODO SECO EN EL MUNICIPIO AYAPEL,  
CÓRDOBA**

**JOSE ALFREDO CARREÑO ACOSTA**

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de proyecto de investigación, como  
parte de los requisitos para optar el título de Ingeniero Ambiental.**

**Director:**

**JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE**

**Ph.D Ciencias Químicas**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
MONTERÍA, CÓRDOBA**

**2017**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

**Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

*A mi familia, que siempre ha creído en mí y en mis capacidades.*

*A mi madre, quien ha sido mi compañia, siempre apoyándome en busca de este gran logro en mi vida.*

*A mi hermana Azucena quien ha sido mi sustento y ayuda durante toda mi formación como profesional.*

*A mi novia Martha Milena Ramos por darme la motivación necesaria para seguir adelante cuando creía que no sería capaz.*

*Agradecimientos especial a:*

*A Dios, por estar a mi lado todos los días, guiándome y permitiéndome seguir adelante brindándome de su sabiduría y protección.*

*Agradecimientos:*

*A la Universidad de Córdoba, el haberme brindado la oportunidad de obtener el título de Ingeniero Ambiental.*

*Al profesor Teobaldís Mercado Fernández por su grandísimo apoyo durante toda la investigación.*

*Al profesor Jose Luis Marrugo por su dirección y apoyo valioso durante la investigación.*

*A Eglendys Nobles por su ayuda y ánimo cuando lo necesité.*

*A Angel David Diaz Carvajal por sus consejos e indicaciones.*

*A German Holan Enamorado por sus asesorías en la investigación y colaboración durante la fase de muestreo.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	16
<b>1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS</b> .....	17
<b>1.2 MARCO TEÓRICO</b> .....	20
<b>1.2.1 Sistema de agua subterránea</b> .....	20
<b>1.2.2 Generalidades de la contaminación en aguas subterráneas</b> .....	20
<b>1.2.3 Descripción general del acuífero Betulia</b> .....	22
<b>1.2.4 Piezómetros del municipio de Ayapel</b> .....	23
<b>1.2.5 Características del Mercurio</b> .....	23
<b>1.2.6 El mercurio en la extracción minera artesanal de Oro</b> .....	25
<b>1.2.7 Nivel de referencia nacional e internacional para mercurio en agua de consumo humano</b> .....	26
<b>2. MATERIALES Y METODOS</b> .....	29
<b>2.1 AREA DE ESTUDIO</b> .....	30
<b>2.2 ESTACIONES DE MUESTREO</b> .....	30
<b>2.3 TIPO DE ESTUDIO</b> .....	31
<b>2.4 DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	32
<b>2.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS</b> .....	33
<b>2.6 METODOS DE ANALISIS EN LABORATORIO</b> .....	35
<b>2.6.1 Metales en agua</b> .....	35
<b>2.6.2 Materia orgánica (m.o.)</b> .....	35
<b>2.6.3 Medición de parámetros in situ</b> .....	36
<b>2.7 ANALISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE Hg, MATERIA ORGÁNICA y NIVELES DE pH Y POTENCIAL REDOX HALLADAS EN LAS MUESTRAS</b> .....	36

2.8	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE Hg OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO CON NIVELES DE REFERENCIA NACIONALES E INTERNACIONALES .....	36
2.9	CORRELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y LINEAS DE FLUJO PARA EL AREA DE ESTUDIO.....	37
3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	38
3.1	RESULTADOS DE LAS MUESTRAS .....	39
3.2	CONCENTRACIONES DE Hg OBTENIDOS FRENTE A NIVELES DE REFERENCIA INTERNACIONAL Y NACIONAL.....	41
3.3	CORRELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y LÍNEAS DE FLUJO SUBTERRANEO DETERMINADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	45
4.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	49
5.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	51
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	53
	<b>ANEXOS</b> .....	60

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de agua subterránea.....	20
<b>Figura 2.</b> Nivel superior e inferior del acuífero Betulia. ....	22
<b>Figura 3.</b> A) Toma de muestra, Colegio Simón Bolívar. B) Piezómetro, barrio Alberto Lleras.....	23
<b>Figura 4.</b> Ciclo del Mercurio .....	25
<b>Figura 5.</b> Esquema diseño metodológico .....	33
<b>Figura 6.</b> Muestreo, piezómetro Colegio Simón Bolívar. ....	34
<b>Figura 7.</b> Toma parámetros in-situ (pH y T°), Barrio Alberto Lleras, Ayapel.....	34
<b>Figura 8.</b> Diagrama de equilibrio Eh/pH para el Hg.....	44
<b>Figura 9.</b> Superficie piezométrica y dirección de flujos generalizadas del área de estudio. ....	46
<b>Figura 10.</b> Líneas de flujo presentes en el área de estudio.....	47

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana. ....	27
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas de los puntos de muestreo.....	31
<b>Tabla 3.</b> Resultados de concentraciones de Hg, materia orgánica (M.O.), Potencial Redox y parámetros in-situ (pH y T) .....	39
<b>Tabla 4.</b> Concentraciones de Hg en 5 puntos, estudio CVS-Universidad de Córdoba, 2009.....	42

<b>Tabla 5.</b> Concentraciones de otros metales en puntos de muestreo.....	43
---	----

### **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1.</b> Concentraciones de Hg en puntos muestreados.....	41
--	----

### **LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa 1.</b> Localización general del acuífero Betulia. ....	30
--	----

<b>Mapa 2.</b> Ubicación puntos de muestreo. ....	32
---	----

<b>Mapa 3.</b> Interpolación espacial, método IDW aplicado sobre concentraciones de Hg. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
--	--

### **LISTA DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Comunicado de prensa.....	62
---	----

## RESUMEN

El uso del mercurio en la minería de oro constituye una amenaza ambiental y a la salud humana. En el año 2009 se detectaron las primeras concentraciones de mercurio en aguas subterráneas pertenecientes al acuífero Betulia. En el año 2016 mediante la presente investigación se realizó el muestro de 9 piezómetros ubicados en zona rural y urbana del municipio de Ayapel, con el objetivo principal de evaluar el mercurio presente en el agua subterránea para dicho año, correlacionando los resultados con parámetros de pH, materia orgánica y potencial Redox, así como con líneas de flujo subterráneo. Los resultados comprobaron la presencia de mercurio en concentraciones menores entre los 0.14 y 0.87  $\mu\text{g L}^{-1}$ , las cuales no sobrepasaron el límite máximo aceptado por la norma nacional y la Organización Mundial de la Salud (1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Aunque los valores no son motivo de alarma general, algunos puntos de muestreo presentaron signos evidentes de contaminación. El pH de las muestras osciló entre 4.15 y 7.31, encontrándose que dos de las muestras con los pH más bajos contenían las concentraciones de mercurio más altas. La mayoría de las muestras presentaron concentraciones de materia orgánica por debajo del límite de detección (<0.5  $\text{mg L}^{-1}$ ), exceptuando dos puntos con concentraciones de 1.06 y 0.56  $\text{mg L}^{-1}$ . Al analizar las direcciones de las líneas de flujo subterráneo se logró percibir explícitamente que los niveles de mercurio hallados en los puntos muestreados fueron conducidos desde las zonas con mayor actividad minera en los últimos años (Quebrada Quebradona y Escobillas).

**Palabras claves:** Minería de oro, amenaza ambiental, límite máximo aceptable, mercurio, contaminación.

## ABSTRACT

The use of mercury in gold mining constitutes an environmental threat and human health. In 2009, the first concentrations of mercury in groundwater belonging to the Betulia aquifer were detected. In the year 2016 the present investigation was carried out the sampling of 9 piezometers located in rural and urban area of Ayapel, with the main objective of evaluating the mercury present in the groundwater for that year, correlating the results with parameters of pH , Organic matter and Potential Redox, as well as with underground flow lines. The results showed the presence of mercury in lower concentrations between 0.14 and 0.87  $\mu\text{g L}^{-1}$ , which did not exceed the maximum limit accepted by the national standard and the World Health Organization (1  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Although the values are not cause for general alarm, some sampling points showed obvious signs of contamination. The pH of the samples ranged from 4.15 to 7.31, with two of the samples having the lowest pHs containing the highest mercury concentrations. Most of the samples presented concentrations of organic matter below the limit of detection ( $<0.5 \text{ mg L}^{-1}$ ), except for two points with concentrations of 1.06 and 0.56  $\text{mg L}^{-1}$ . In analyzing the directions of the underground flow lines, it was possible to perceive explicitly that the mercury levels found in the sampled points were conducted from the areas with the highest mining activity in the last years (Quebrada quebradona y escobillas).

**Keywords:** gold mining, environmental threat, maximum limit accepted, mercury, contamination.

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación por mercurio (Hg) es un problema ambiental de ámbito mundial con serias implicaciones en la salud humana y el ambiente, tanto inmediatas como a largo plazo. Actualmente se considera que la actividad humana es la principal fuente de liberación de mercurio al medio ambiente.

La minería del oro por sus consecuencias sobre el medio ambiente y la salud humana se ha convertido en un tema de especial interés, lo cual ha producido un gran número de estudios asociados con el mercurio debido a sus efectos tóxicos durante y después de los procesos de extracción del metal precioso. El uso del mercurio en la minería se debe a que es una de las tecnologías de más bajo costo y fácil adquisición, pero que por su baja eficiencia en el proceso de extracción de oro, permite su descarga y emisión al medio ambiente (Olivero 2010).

La minería aurífera en Ayapel alcanzó su mayor auge entre los años 80 y 90, pero fue en los últimos 10 años donde esta actividad se vio intensificada (Ayapel, 2004). Los medios de comunicación han dado a conocer la problemática reciente presentada en la Ciénega de Ayapel por sus altos niveles de mercurio en sus aguas y peces, a causa de la intensa actividad minera que se viene desarrollando en la parte sur de la Ciénega, área comprendida entre las quebradas Quebradona y Escobillas (Anexo 1).

Los altos niveles de contaminación en la Ciénega de Ayapel causados por el vertimiento de aguas residuales y residuos mineros, y el hallazgo de mercurio en las aguas subterráneas (CVS-Universidad de Córdoba, 2010) preocupan enormemente debido a los efectos tóxicos que puede causar la ingesta de este metal disuelto en el agua, el cual tiene la capacidad de acumularse en el organismo, causando graves daños a nivel neurológico.

La problemática de la contaminación por metales tóxicos en los sistemas acuíferos se vuelve aún más compleja debido a los cambios físicos y químicos que sufren los contaminantes al entrar en contacto con el material acuífero natural en los sistemas acuíferos, con el cual forma especies químicas en solución y en superficie respectivamente (Mora, 2002).

Entendiendo la interacción íntima entre los cuerpos de agua superficial y las aguas subterráneas manifestada entre la Ciénega de Ayapel y el sistema acuífero Betulia, se concibe la idea que las posibles concentraciones de mercurio presentes en el agua subterránea serían provenientes de la ciénega.

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar las concentraciones de mercurio en el agua subterránea del municipio de Ayapel en el año 2016. Para ello se contó con el muestreo de 9 piezómetros ubicados en zona rural y urbana del municipio de Ayapel, luego para el desarrollo del objetivo principal se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos específicos: analizar las concentraciones de mercurio, pH y materia orgánica presentes en el agua subterránea del área de estudio, posteriormente comparar los datos obtenidos con el estudio “Modelamiento y determinación de la contaminación hídrica de acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún (CVS-Universidad de Córdoba, 2009) y las normas legales vigentes nacionales e internacionales, finalmente identificar las direcciones de flujo teniendo en cuenta estudios realizados previamente con el fin de correlacionarlas con las concentraciones de mercurio halladas en los piezómetros analizados.

## **1. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

## 1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La problemática sobre la contaminación por mercurio en fuentes hídricas no es algo nuevo. El uso del mercurio para fines mineros se remonta a la época del descubrimiento de América cuando la fiebre del oro apenas daba sus inicios. Desde entonces muchos ecosistemas comenzaron a ser contaminados y se estima que cerca de 200.000 toneladas métricas de Hg fueron depositadas por colonizadores españoles tan solo en América del sur (Díaz, 2014).

En Colombia, la minería ha tenido un auge muy importante en los últimos años, trayendo consigo situaciones ambientales, sociales y económicas. Uno de los mayores impactos negativos ha sido sobre el recurso hídrico, afectando directamente la calidad de vida de muchas poblaciones donde se concentran los mayores puntos de explotación minera.

Numerosas investigaciones y publicaciones tanto a nivel nacional e internacional se han realizado entorno al estudio del comportamiento del Hg en suelos y aguas superficiales, notándose el interés en el estudio de la movilidad y bioacumulación del MeHg (metilmercurio), especie del mercurio con los mayores efectos tóxicos sobre la salud humana. A nivel internacional son pocas las publicaciones que se han realizado respecto al Hg en aguas subterráneas en parte porque se trata de un tipo de contaminación que apenas está comenzando a ser estudiada, en tanto que a nivel nacional son casi nulos los estudios publicados, sin embargo, se destaca el estudio “*Modelamiento y determinación de la contaminación hídrica de acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún, departamento de Córdoba*” donde por primera vez se dan a conocer las primeras evidencias de la presencia de mercurio en el nivel superior del acuífero Betulia, en Ayapel.

Los antecedentes investigativos que se anotan a continuación son documentos o estudios realizados en Colombia, relacionados con los niveles o concentraciones de mercurio presentes en aguas superficiales, a causa entre otras razones a la actividad minera en general:

- Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. 2014.
- Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní-San Luis departamento del Huila. Colombia. 2013.

**Otros estudios relacionados, a nivel internacional:**

## ANTECEDENTES

Estudio	Descripcion	Autores
Groundwater contamination assessment for sustainable water supply in Kathmandu Valley, Nepal. 2002.	El objetivo de este estudio fue evaluar la extensión y las fuentes de contaminación del agua subterránea. El muestreo de agua se llevó a cabo en pozos profundos seleccionados y fuentes poco profundas. El nivel de contaminación se evaluó comparando los resultados de la calidad del agua con las directrices de la OMS. Los principales problemas con los pozos cavados, las bombas de mano y los chorros fueron los contenidos elevados de nitrato y mercurio. Se encontró que los pozos profundos situados en el acuífero central tenían una seria amenaza de contaminación por amoníaco. También se encontró que los pozos profundos tenían concentraciones de hierro, manganeso y mercurio que excedían los valores de la guía.	Khatlwada NR, Takizawa S, Tran TV, Inoue M.
El origen del mercurio presente en el acuífero costero de la plana de Castellón (este de España). España. 2010.	En este estudio la presencia de mercurio en el acuífero costero de la Plana de Castellón, detectada en la segunda mitad de la década de los años 90 con concentraciones entre 5 y 12 µg/L, fue atribuida a un origen antrópico por diferentes autores, aunque sin identificar sus focos ni actividades contaminantes. La presencia de mercurio en el acuífero costero de la Plana de Castellón, detectada en la segunda mitad de la década de los años 90 con concentraciones entre 5 y 12 µg/L, ha sido atribuida a un origen antrópico por diferentes autores, aunque sin identificar sus focos ni actividades contaminantes.	J. López Gutiérrez, O. García Menéndez y B. J. Ballesteros Navarro
Origen del mercurio presente en las aguas subterráneas del oeste de Gijón (Asturias).	Mediante este trabajo se realizó una evaluación de la contaminación producida por el uso del mercurio en la cuenca del río Ocoña . Para ello, se utilizaron un total de 12 muestras de agua procedentes de diferentes lugares de la cuenca. Además se analizaron 3 muestras de plantas y sus suelos y 20 de cabellos humanos.	Palacios, Silvia. Alfonso Abella, María Pura. Yañez, Juan. Higuera, Pablo.

## 1.2 MARCO TEÓRICO

### 1.2.1 Sistema de agua subterránea

Las aguas subterráneas están conectadas fuertemente con el sistema de agua superficial, existiendo una interrelación íntima entre los cuerpos superficiales y las aguas subterráneas. Un sistema de agua subterránea puede definirse como un subsistema abierto que está interconectado con otros subsistemas acuáticos y terrestres. Existen fronteras abiertas en el sistema a través de las cuales fluye agua, materia (nutrientes y contaminantes) y energía, en ambas direcciones y en algunos casos en un solo sentido (Menéndez, 2010).

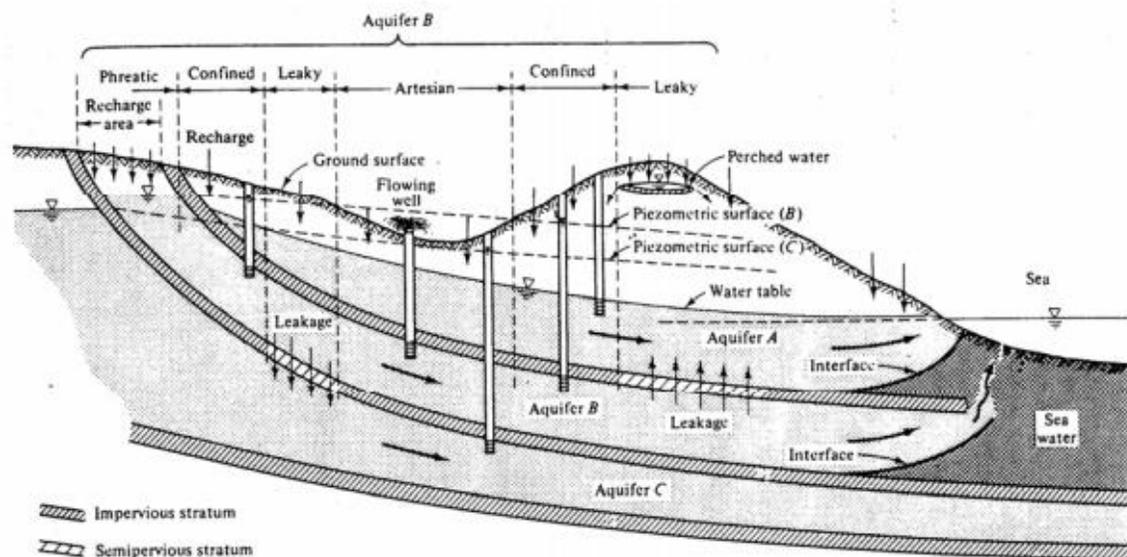


Figura 1. Sistema de agua subterránea

Tomado de: Menéndez 2010.

### 1.2.2 Generalidades de la contaminación en aguas subterráneas

Entendemos sencillamente la contaminación de las aguas subterráneas como la alteración de la calidad natural de estas debido a causas naturales y la acción humana. Dicha alteración se percibe cuando la contaminación afecta los usos del agua.

La contaminación de las aguas subterráneas ocurre de forma natural en algunos casos, aunque los casos de contaminación aguda se presentan como resultado de actividades antrópicas en la superficie terrestre (Hornsby, 2000)

Según Menéndez (2010), la contaminación del agua es el efecto de introducir materias o formas de energía, que inducen condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. A su vez el mismo autor opina que, los procesos hidrológicos son factores decisivos que afectan el destino de contaminantes en los sistemas acuáticos, proveyendo los caminos de transporte y medios para la mayoría de los procesos de transformación química y biológica.

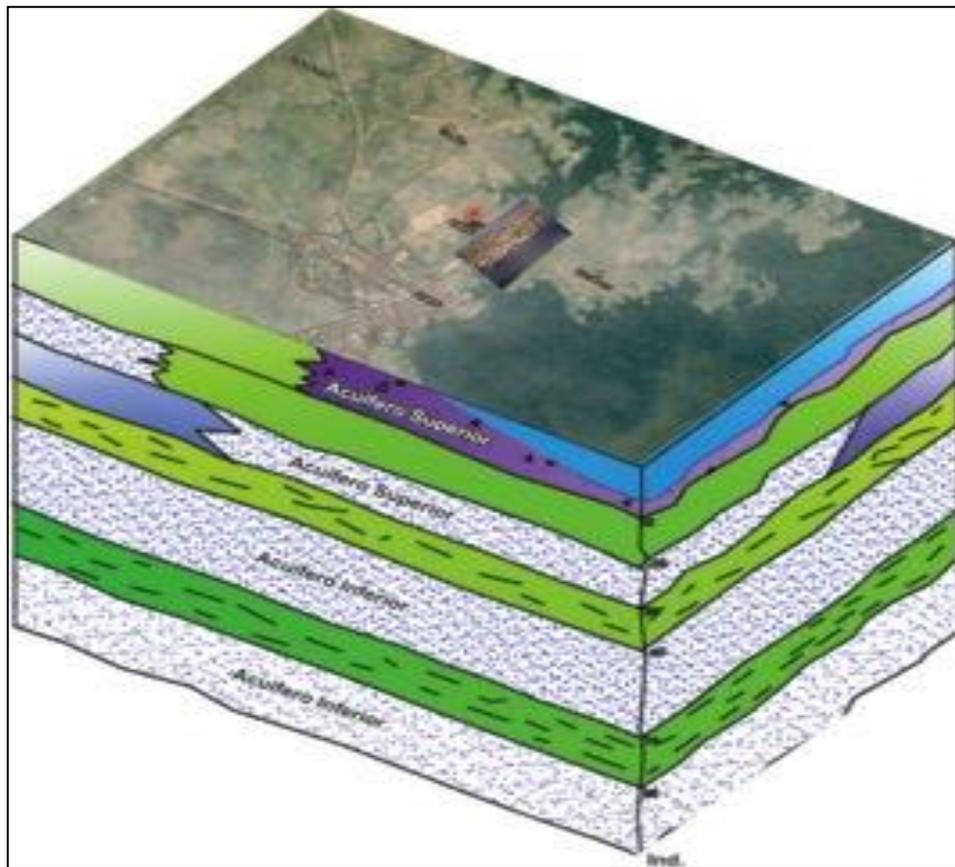
Hornsby (1986), explica que el agua subterránea es contaminada cuando las sustancias tóxicas son disueltas en el agua superficial y estas a su vez son trasladadas a los acuíferos por medio del agua percolada e infiltrada en el suelo. La posibilidad de contaminación de los acuíferos dependerá de las propiedades y cantidades de las sustancias tóxicas y del suelo sobre el acuífero específico.

De acuerdo a Auge (2006) la contaminación de las aguas subterráneas esta muy relacionada con los procesos de contaminación ambiental y afirma que es posible aplicar el concepto global de los recursos naturales, desarrollado por investigadores soviéticos, por medio de la cual se afirma que no es posible mantener la calidad de uno de los recursos, si el resto esta deteriorado o en inicios de deterioro. Lo anterior lo podemos observar cuando la contaminación del aire a causa de la actividad industrial se moviliza al agua superficial y al suelo por la acción gravitacional o de arraste producida por las lluvias, y posteriormente a las aguas subterráneas por medio de procesos de infiltración, en el caso de que la sustancia sea móvil y lo suficientemente persistente.

De esta forma, un contaminante altamente tóxico, capaz de moverse en el aire, almacenarse en el suelo y ser transferido por medio del agua en inundaciones y lluvias a los ríos y demás fuentes de agua superficiales, es el Mercurio.

### 1.2.3 Descripción general del acuífero Betulia

El acuífero Betulia, de gran importancia en el municipio de Ayapel está constituido por dos niveles acuíferos, el sistema acuífero superior y el sistema acuífero inferior o profundo. El primero es un acuífero de tipo libre a simi-libre, el cual cubre la mayor parte del municipio de Ayapel y está ubicado entre los 25 y 40 metros de profundidad; es el más utilizado actualmente por captación por medio de aljibes y pozos localizados entre los 16 y 30 metros de profundidad respectivamente y es recargado mediante precipitación. El segundo es un acuífero de tipo confinado a semiconfinado, localizado aproximadamente a profundidades superiores a los 40 metros de profundidad y es recargado por el acuífero superior por goteo (CVS 2013).



**Figura 2. Nivel superior e inferior del acuífero Betulia.**

Tomado de: CVS, 2013.

El acuífero está conformado por capas intercaladas de arenas, gravas y arcillas no continuas en la horizontal y su espesor total puede alcanzar los 700 metros. Constituye una zona de recarga de alta capacidad de infiltración y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación (CVS, 2012).

El complejo hídrico de la ciénaga de Ayapel interactúa con el acuífero Betulia uno de los acuíferos más importantes del departamento de Córdoba, el cual se encarga de almacenar las aguas subterráneas de la zona (CVS, 2013).

#### 1.2.4 Piezómetros del municipio de Ayapel

Actualmente se disponen de doce (12) piezómetros en el municipio distribuidos en su gran mayoría en el casco urbano y otros en veredas cercanas. Estos piezómetros caracterizan el nivel superior del acuífero de acuerdo a su profundidad, fueron construidos en el año 2005 con el fin de monitorear la calidad y los niveles de agua del acuífero (CVS, 2013). Para el presente estudio solo se pudo hacer uso de 9 de los piezómetros (tabla 2) dado que algunos se encontraban obstruidos o sellados. Cabe mencionar que los piezómetros utilizados para la toma de las muestras fueron los mismos usados para el último estudio registrado por parte de la CVS y la universidad de Córdoba en el año 2009.



**Figura 3. A) Toma de muestra, Colegio Simón Bolívar. B) Piezómetro, barrio Alberto Lleras.**

Fuente: Teobaldis, 2016.

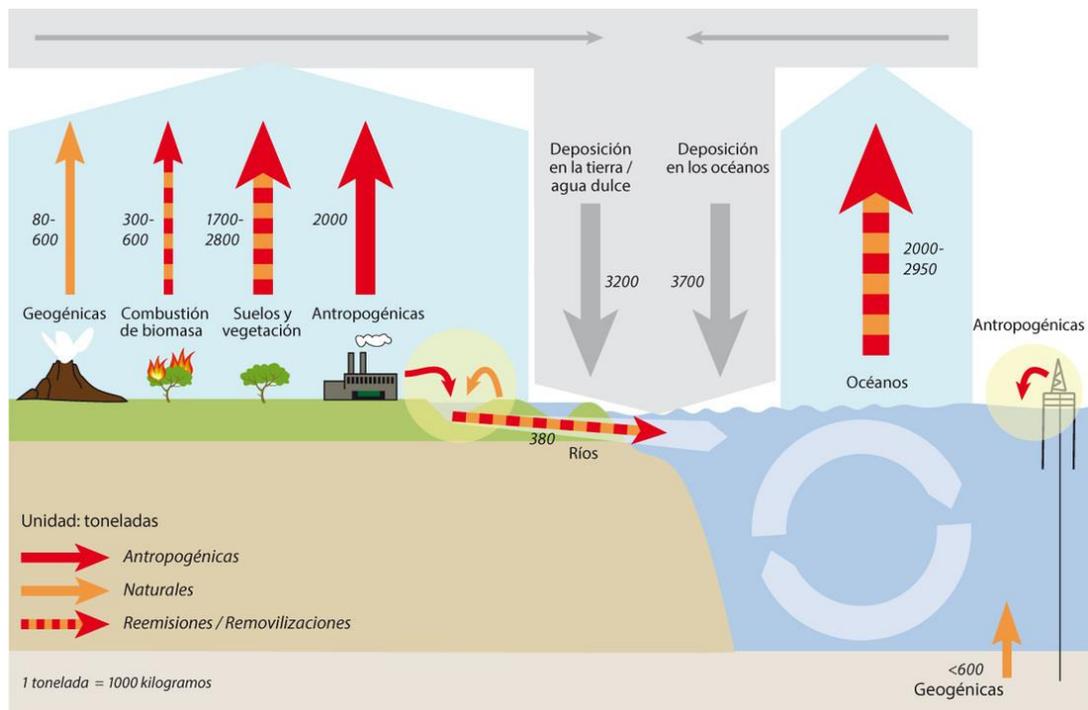
### **1.2.5 Características del Mercurio**

El mercurio (Hg) es un elemento natural que se encuentra en todo el planeta. Dicho metal está presente en muchos minerales, incluyendo el cinabrio, un mineral extraído para producir mercurio y también está presente como impureza en muchos otros minerales de valor económico como los metales no ferrosos, y en los combustibles fósiles, en particular el carbón (UNEP, 2013).

Desde el punto de vista toxicológico existen 3 formas de mercurio: elemental, inorgánico (sales de mercurio y óxidos de mercurio) y orgánico. Lo anterior se puede expresar también como los estados de oxidación del mercurio: elemental ( $\text{Hg}^0$ ), mercurioso (+) y mercúrico ( $2^{++}$ ). Cada una de estas especies químicas de mercurio poseen diferentes espectros de toxicidad, sin embargo tienen algo en común y es que inducen cambios en los sistemas neuronales de los humanos (Español, 2012)

Las solubilidades de las especies de mercurio en el agua son muy variables. En los compuestos del metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{HgX}$ ) la solubilidad en agua varía en gran medida y depende de la naturaleza del anión. Si el anión es nitrato o sulfato, este tiende a ser bastante iónico, lo que aumenta su solubilidad en agua. En el caso de los cloruros, estos son compuestos covalentes no polares, mas solubles en solventes orgánicos y en fluidos orgánicos. El metilmercurio puede asociarse entre un 90-95 % con los globulos rojos y entre un 5-10 % con el plasma. Esta pequeña fracción es la que ingresa al cerebro ocasionando la toxicidad en este órgano (Olivero y Johnson, 2002).

Un aspecto importante del mercurio es su carácter de contaminante global, el cual como se ha dicho puede encontrarse en diferentes estados de oxidación, formando numerosos complejos químicos. A diferencia de otros metales, el Hg es capaz de cambiar a estado gaseoso a temperatura ambiente, lo cual facilita su movilidad en el ambiente y de esta forma se establece el “ciclo del mercurio” (Sánchez et. al, 2013).



**Figura 4. Ciclo del Mercurio**

Tomado de: UNEP, 2013.

El mercurio es liberado al medio ambiente de forma natural y como resultado de las actividades humanas. Una vez que ha entrado al medio ambiente circula entre el aire, el suelo y el agua hasta finalmente depositarse en los sedimentos de los océanos y lagos. En estos ambientes acuáticos por medio de procesos microbianos es formado el metilmercurio, uno de los compuestos más tóxicos y bioacumulables del Hg, de mayor riesgo para la salud de los seres humanos y la vida silvestre (UNEP 2013).

### 1.2.6 El mercurio en la extracción minera artesanal de Oro

Las actividades mineras han emitido históricamente una significativa cantidad de mercurio al medio ambiente. Las fuentes más importantes incluyen, minería de oro, plata, mercurio, y minas de plomo. La minería de oro a pequeña escala es la más reciente fuente notable de las emisiones de mercurio procedentes de la minería (Wanga et al. 2004). De todos los usos que se le dan al mercurio, la minería del oro artesanal y en pequeña escala parece ser la mayor fuente mundial de contaminación por mercurio,

causando graves daños a los mineros y sus familias y deteriorando los ecosistemas locales y regionales (Weinberg 2010).

El mercurio es utilizado para extraer el oro debido a su capacidad de adherirse al metal dorado contenido en el suelo y las rocas. Para este proceso se utiliza el mercurio elemental, el cual forma aleaciones con varios metales, entre ellos el oro, con el cual forma una mezcla sólida llamada amalgama. Para extraer el oro de la amalgama esta es calentada con el fin de que el mercurio elemental se evapore, quedando un oro bastante puro (Olivero y Johnson, 2002).

En el proceso de amalgamación parte del mercurio es liberado al aire y el resto se pierde por derrames, manejos descuidados y otros medios, donde acaba contaminando los suelos y es liberado directamente en los sistemas acuáticos. Desde el suelo los residuos de mercurio también pueden escurrir hacia los sistemas acuáticos. El mercurio elemental que se deposita en los suelos y sistemas acuáticos puede volatilizarse posteriormente a la atmósfera y sumarse al mercurio atmosférico ya existente (Weinberg, 2010).

Se ha estimado que la minería artesanal y a pequeña escala producen el 20% y 30% del oro en el mundo, equivalente a 500 y 800 toneladas anuales respectivamente (García 2013). Colombia ocupa el 6º lugar como el país con las mayores producciones de oro en Latinoamérica y el lugar 19º a nivel mundial (Tabla 1). Aunque las cantidades de oro producidas no sean las más importantes, gran parte de estas se deben a la minería ilegal, esto según Paul Burton editor de la publicación World Gold Analyst (Díaz, 2014).

### **1.2.7 Nivel de referencia nacional e internacional para mercurio en agua de consumo humano**

Dentro de la legislación Colombiana la norma que rige los límites máximos permisibles para este caso, el mercurio en agua destinada al consumo humano, se dispone de la resolución 2115 de 2007.

**Resolución 2115 de 2007:** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

La presente resolución en su artículo 5°, señala los límites máximos permisibles para elementos, compuestos químicos, mezcla de compuestos químicos y otras sustancias presentes en aguas destinadas al consumo humano, que generan efectos adversos sobre la salud humana.

**Tabla 1.** Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

Elementos, compuestos químicos, mezcla de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresado como	Valor máximo aceptable (mg.L <sup>-1</sup> )
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN	0,05
Cobre	Cu	1
Cromo total	Cr	0,05
<b>Mercurio</b>	<b>Hg</b>	<b>0,001</b>
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometales totales	THMs	0,2
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Tomado de: Resolución 2115 2007.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció unas directrices para la calidad del agua potable que son la guía de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Las últimas directrices publicadas por la OMS

son las acordadas en Génova, 2004. Todos los países consideran las guías de la OMS para la calidad del agua potable como herramienta principal para la actualización periódica de sus normas nacionales (OMS 2015), incluyéndose los países de la Unión Europea, Reino Unido, Canadá y la India.

**OMS → Nivel admisible de mercurio →  $0.001 \text{ mg L}^{-1}$  (dada algunos casos como  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ )**

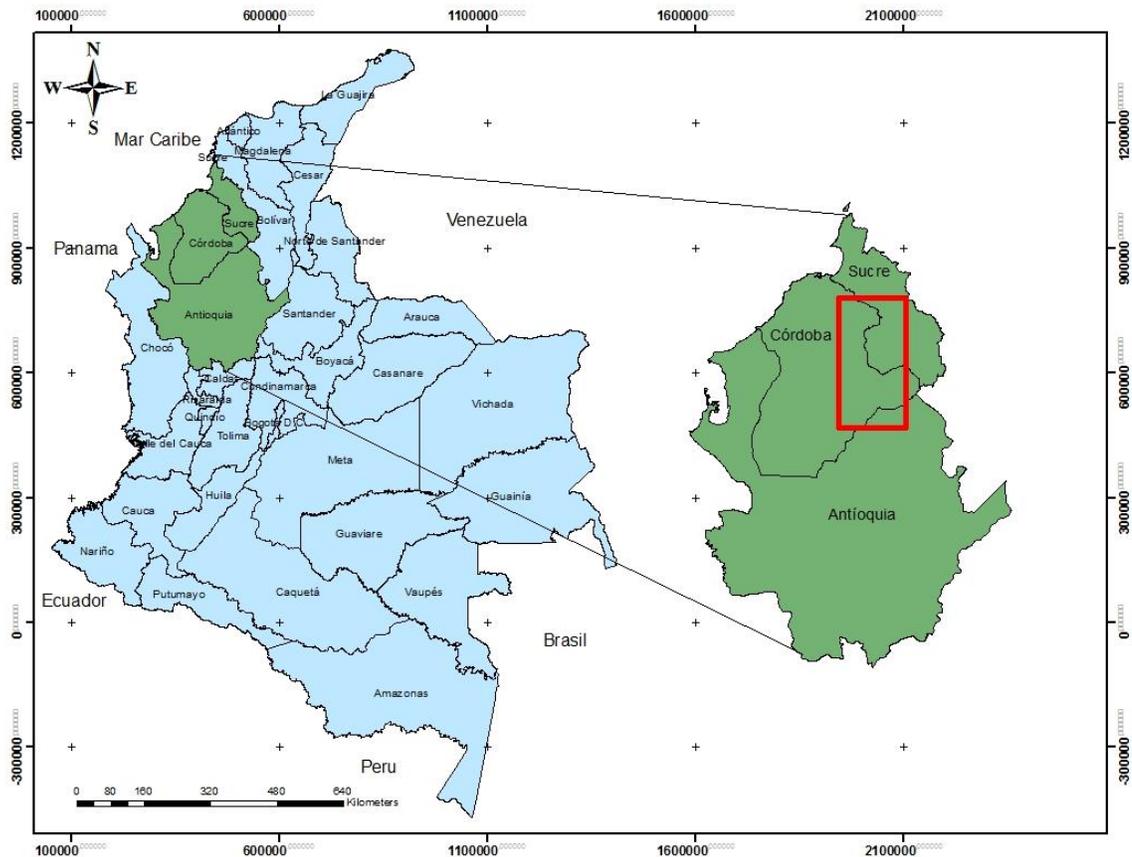
La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) ha establecido dos categorías de estándares para el agua potable: estándares primarios y estándares secundarios. En la primera categoría se encuentran los contaminantes que afectan la salud humana al ser consumidos y es allí donde se encuentra el límite máximo aceptable para mercurio en agua potable. (EPA 2000).

**EPA → Nivel admisible de mercurio (inorgánico) →  $0.002 \text{ mg L}^{-1}$  ( $2\mu\text{g L}^{-1}$ )**

## **2. MATERIALES Y METODOS**

## 2.1 AREA DE ESTUDIO

El acuífero Betulia se extiende en una franja en sentido norte-sur en el extremo oriental del departamento de Córdoba, con límite al norte con el departamento de Sucre y al sur con el departamento de Antioquia (CVS 2016).



**Mapa 1.** Localización general del acuífero Betulia.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 ESTACIONES DE MUESTREO

Los puntos muestreados se encuentran distribuidos en la zona rural y urbana del municipio de Ayapel, coincidiendo 5 de los 9 puntos analizados, con el estudio “**Modelamiento y determinación de la contaminación hídrica de acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún**” realizado en el año 2009 (CVS, 2009). Estos puntos fueron

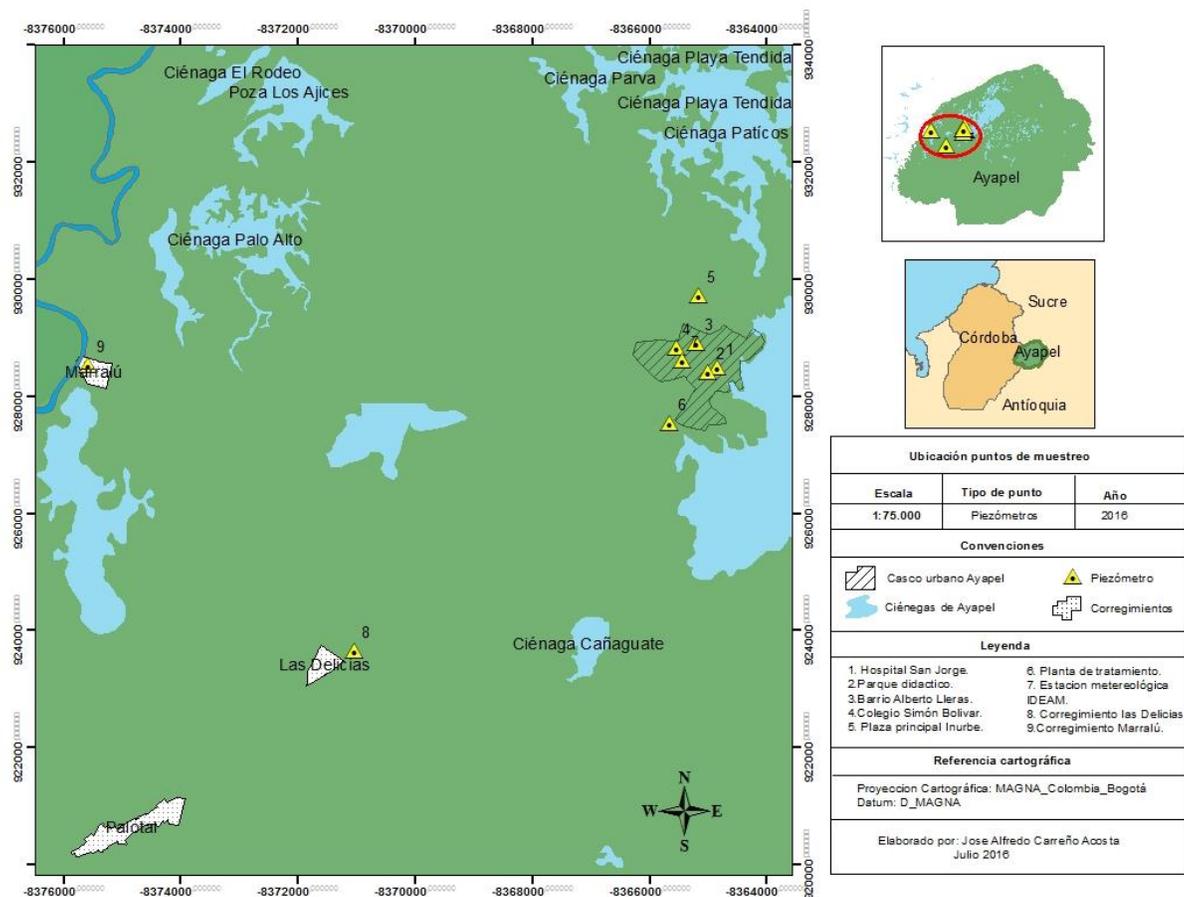
georeferenciados con GPS-Garmin etrex (tabla 2), y su ubicación puede ser vista de mejor manera en un mapa elaborado (mapa 2).

**Tabla 2.** Coordenadas de los puntos de muestreo.

<b>Puntos de muestreo</b>		
<b>Punto</b>	<b>Piezómetro</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>
1	Hospital San Jorge	N 08°18' 41.3" - W 75° 08' 33.3"
2	Parque didáctico	N 08°18' 38.8" - W 75° 08' 38.5"
3	Barrio Alberto Lleras, calle 10 # 9-23	N 08°18' 54.4" - W 75° 08' 44.8"
4	Colegio Simón Bolívar	N 08°18' 52.2" - W 75° 08' 55.9"
5	Plaza principal Inurbe	N 08°18' 20.8" - W 75° 08' 43.4"
6	Planta de tratamiento del municipio	N 08°18' 10.7" - W 75° 08' 59.4"
7	Estación meteorológica del IDEAM	N 08°18' 45" - W 75° 08' 52.4"
8	Corregimiento las Delicias	N 08°18' 43.7" - W 75° 08' 15"
9	Corregimiento Marralú	N 08°18' 5.7" - W 75° 08' 54.3"

### **2.3 TIPO DE ESTUDIO**

Esta investigación es de tipo exploratoria, con el fin de evaluar la contaminación por mercurio en una porción del nivel superior del acuífero Betulia, por medio de la recolección de muestras de agua subterránea que permitan determinar la existencia o no de contaminación por mercurio.



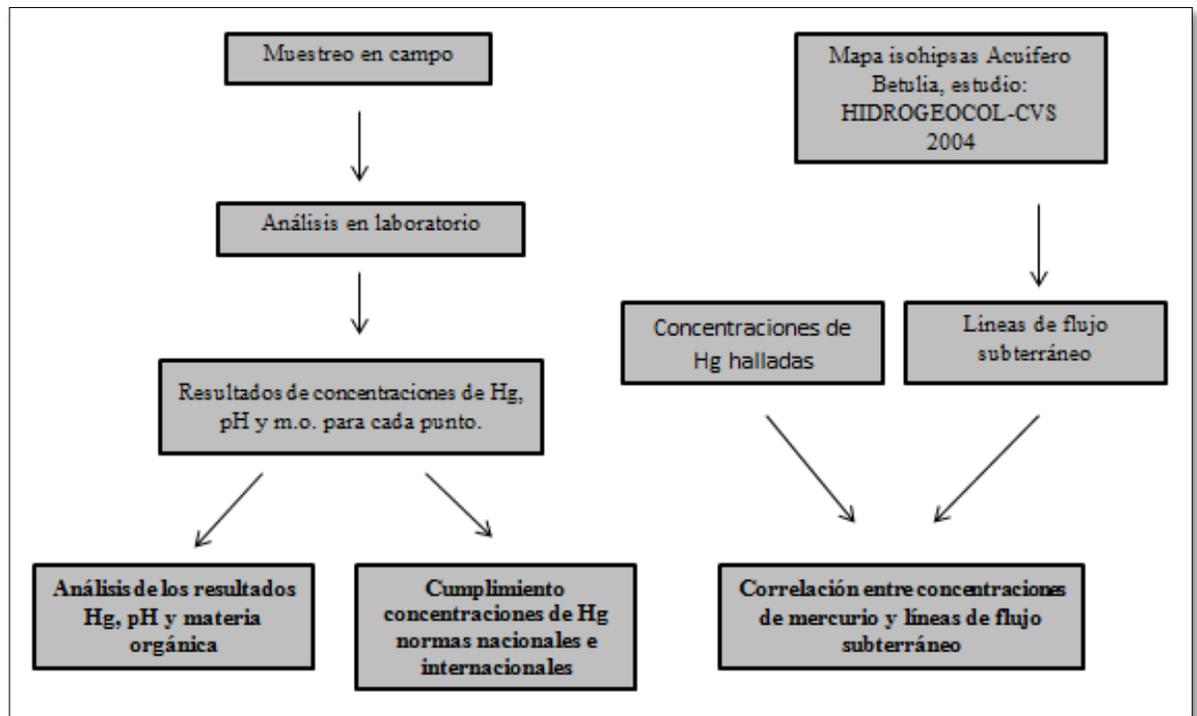
**Mapa 2.** Ubicación puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología seguida para el desarrollo de la investigación se basó en la determinación y análisis de las concentraciones de mercurio presentes en el agua subterránea del Acuífero Betulia (nivel superior). El desarrollo de la investigación comprendió 3 objetivos que permiten conocer las concentraciones actuales de Hg y su relación con parámetros fisicoquímicos como el pH y la materia orgánica, además del cumplimiento de las concentraciones de mercurio frente a niveles máximos aceptables nacionales e internacionales y por último, conocer la dirección del flujo subterráneo del área en estudio para así entender y explicar las direcciones donde se podrían movilizar

los contaminantes como el mercurio en el acuífero. A continuación, se ilustran los pasos ejecutados para la realización de la presente investigación:



**Figura 5. Esquema diseño metodológico**

## 2.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Para la presente investigación se realizó un muestreo el mes de abril del año 2016, donde se seleccionaron 9 piezómetros para la recolección de las muestras, 7 de estos ubicados en el casco urbano y 2 en veredas del municipio de Ayapel.

Para la recolección de las muestras se utilizaron botellas plásticas y recipientes de vidrio ámbar, previamente preparados en laboratorio. En cada punto se tomaron dos muestras, una tomada en un recipiente plástico con capacidad de 1 litro y otra en un recipiente de vidrio ámbar previamente lavado con una solución al 5% de HNO<sub>3</sub> y enjuagados con agua destilada (APHA 2005). Las botellas con las muestras fueron transportadas al laboratorio en hieleras con el fin de mantener la temperatura del agua cercana a los 4° C y evitar en lo posible alteraciones en su composición.

El análisis de las muestras fue realizado en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad de Córdoba, el cual esta acreditado ante el IDEAM.



**Figura 6. Muestreo, piezómetro Colegio Simón Bolívar.**

Fuente: Teobaldis Mercado, 2016.



**Figura 7. Toma parámetros in-situ (pH y T°), Barrio Alberto Lleras, Ayapel.**

Fuente: Teobaldis Mercado, 2016.

## **2.6 METODOS DE ANALISIS EN LABORATORIO**

### **2.6.1 Metales en agua**

Para el Hg total en agua se realizó una digestión convencional en baño maría a una temperatura de 95°C durante 2 horas. Para ello, se adicionaron 50mL de muestra en un Erlenmeyer y se adicionaron 5 ml de una mezcla H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub> (7:3), luego se adicionaron 3 ml de una solución diluida de KMnO<sub>4</sub> y 2 ml de una solución diluida de K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>; la determinación se realizó por la técnica de absorción atómica con vapor frío con. En todos los casos se empleó el método de cuantificación por curva de calibrado.

Para el análisis de los metales, Pb, Cd, Al y Fe en agua, se realizó una digestión microondas empleando un digestor referencia Ethos Touch de la serie 127697 marca Milestone, se hizo seguimiento del método EPA 3015A con algunas modificaciones (EPA, 2007). El procedimiento consiste en adicionar 45 ml de muestra y 5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado en un vaso de teflón, el cual se encontraba previamente limpio y seco. Para la digestión se empleó un programa de temperatura de 20 minutos. La determinación de Pb y Cd se realizó por horno de grafito, por su parte, la determinación de Fe y Al se realizó mediante el método de llama. Todas las determinaciones se realizaron en un equipo de absorción atómica marca Thermo Scientific de la serie ICE3000.

### **2.6.2 Materia orgánica (m.o.)**

Para la determinación de materia orgánica en las muestras se utilizó el método de oxidación al Permanganato. Este método tiene como objetivo conocer la cantidad de materia orgánica presente en el agua mediante la oxidación con permanganato potásico en caliente y en medio ácido.

Las sustancias de origen orgánico presentes en el agua se tratan con un reactivo oxidante, el MnO<sub>4</sub>K (Permanganato potásico). En la oxidación producida hay un gasto de reactivo, del cual mediante cálculo se deduce la materia que hay en el agua analizada.

### **2.6.3 Medición de parámetros in situ**

Los parámetros medidos in situ fueron: pH, conductividad eléctrica y temperatura. Se usó un medidor pH/ORP/T impermeable Marca Hanna Referencia HI 991003. También se empleó un medidor Pro2030 Marca YSI referencia 6052030 con sonda Polarográfica de OD y de Conductividad.

### **2.7 ANALISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE Hg, MATERIA ORGÁNICA y NIVELES DE pH Y POTENCIAL REDOX HALLADAS EN LAS MUESTRAS.**

Se analizaron posibles relaciones existentes entre los parámetros obtenidos (Hg, pH y M.O.), a partir de las muestras examinadas en laboratorio, con el fin de reconocer patrones de comportamiento en el área de estudio.

### **2.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE Hg OBTENIDOS EN EL PRESENTE ESTUDIO CON NIVELES DE REFERENCIA NACIONALES E INTERNACIONALES**

Se compararon las concentraciones de Hg halladas en los puntos muestreados con los niveles máximos aceptables en agua para consumo humano definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) y la OMS (Organización Mundial de la Salud), así como con la resolución 2115 de 2007 (norma colombiana).

También se compararon estas concentraciones con los resultados obtenidos en el estudio “**Modelamiento y Determinación de la Contaminación Hídrica de Acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún**” llevado a cabo entre la Universidad de Córdoba y la CVS, en el cual reposan los primeros resultados acerca de las concentraciones de mercurio presentes en el agua subterránea de la cual se surte gran parte de la población Ayapelense.

## **2.9 CORRELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y LINEAS DE FLUJO PARA EL AREA DE ESTUDIO**

Para la identificación de las líneas de flujo subterráneo perteneciente al nivel superior del acuífero Betulia se tomaron como referencia los resultados obtenidos en el estudio “Estudio hidrogeológico en la zona de influencia de la Ciénega de Ayapel que permite definir la relación hidráulica entre la Ciénega y los acuíferos asociados” (HIDROGEOCOL - CVS 2004), concerniente a la superficie piezométrica y direcciones de flujo de la cual hace parte el área de estudio de la presente investigación. La información obtenida en relación a la dirección de flujo subterráneo se obtuvo de 21 aljibes y pozos del municipio, captaciones con profundidades promedio entre los 6 y 15 metros de profundidad. Dicha identificación de las líneas de flujo hicieron posible su correlación con las concentraciones de Hg más significativas lográndose inferir hacia qué dirección tiende a movilizarse el mercurio presente en el acuífero.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1 RESULTADOS DE LAS MUESTRAS

Luego de finalizados los análisis de las muestras en laboratorio, los resultados para las concentraciones de Hg, pH (In situ), materia orgánica y Potencial Redox fueron los siguientes:

**Tabla 3.** Resultados de concentraciones de Hg, materia orgánica (M.O.), Potencial Redox y parámetros in-situ (pH y T).

Punto N°	Ubicación	[Hg] mg.L <sup>-1</sup>	pH	T °C	[m.o.] mg.L <sup>-1</sup>	ORP Mv
1	Estación meteorológica	<LD(0.00014)	5.3	29.3	< 0.5	212.9
2	Plaza Inurbe	0.00015	6.82	31.8	1.04	179.3
3	Hospital San Jorge	0.00027	5.01	28.6	0.56	289.9
4	Corregimiento las Delicias	<LD(0.00014)	6.22	28.8	< 0.5	236.4
5	Planta tratamiento Ayapel	0.00015	7.31	30.6	0.52	207.5
6	Colegio Simón Bolívar	0.00015	5.31	31.1	< 0.5	250.7
7	Corregimiento Marralú	<LD(0.00014)	7.07	30	< 0.5	215.1
8	Casa barrio Lleras (Casco urbano)	0.0007	4.15	29.3	< 0.5	312.3
9	Parque didáctico (Casco urbano)	0.00087	4.73	31.1	< 0.5	278.1
<LD: Menor al límite de detección. [m.o.]: Concentración de materia orgánica. ORP: Potencial Redox						

Los niveles de mercurio detectados en las muestras (tabla 3) ponen de manifiesto que en el agua subterránea perteneciente al nivel superior del acuífero Betulia hay presencia de mercurio, destacándose las concentraciones de los puntos **Casa Barrio Lleras** y **Parque Didáctico** con concentraciones que alcanzan los 0.70 y 0.87 µg L<sup>-1</sup> respectivamente. El resto de los puntos presentan valores de concentración de mercurio más bajos y algunos por debajo del límite de detección.

Las mediciones “in situ” permitieron detectar rangos de pH entre los 4.15 y 7.31, valores que van desde los niveles ácidos hasta los neutrales. Los pH bajos encontrados en varias de las muestras pueden obedecer a la presencia de plomo y el hierro en las muestras (Tabla 5) los cuales pudieron reaccionar con el agua dando lugar a soluciones ligeramente ácidas:  $\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})^{2+} + \text{H}^+$ , como consecuencia de reacciones de hidrólisis (Mora 2002). De igual forma estos valores de pH pueden ser ocasionados

debido a cambios en la geoquímica del agua subterránea, donde al haber infiltración de contaminantes se producen cambios en las condiciones Redox en el acuífero.

Otro parámetro medido in-situ fue la temperatura del agua subterránea la cual varió entre los 28.6 y 31.8 °C (tabla 3). Cabe mencionar que la temperatura y el pH juegan un papel muy importante en la forma química en la que puede encontrar el mercurio. En este sentido, valores cercanos a los 30°C y pH por debajo de 7 favorecen la forma inorgánica del mercurio ( $\text{Hg}^{2+}$ ), estado en el que el metal está en su forma disponible ocasionando la contaminación del agua y que por su consumo puede incorporarse al hombre (Contraloría departamental, contraloría de Córdoba, 2010).

Llama la atención que las aguas donde se encontraron los valores más bajos de pH (pH ácido) corresponden a los mismos puntos (8 y 9) donde se ubican las concentraciones de mercurio más significativas o más altas encontradas. Esto es coherente con el hecho de que la mayoría de los metales incluido el mercurio tienden a estar más disponibles en pH ácidos, siendo menos absorbidos en el medio (Galán y Romero 2008). A la vez estos ambientes ácidos en las aguas subterráneas facilitan la movilidad de los metales (Oyarzún, 2007).

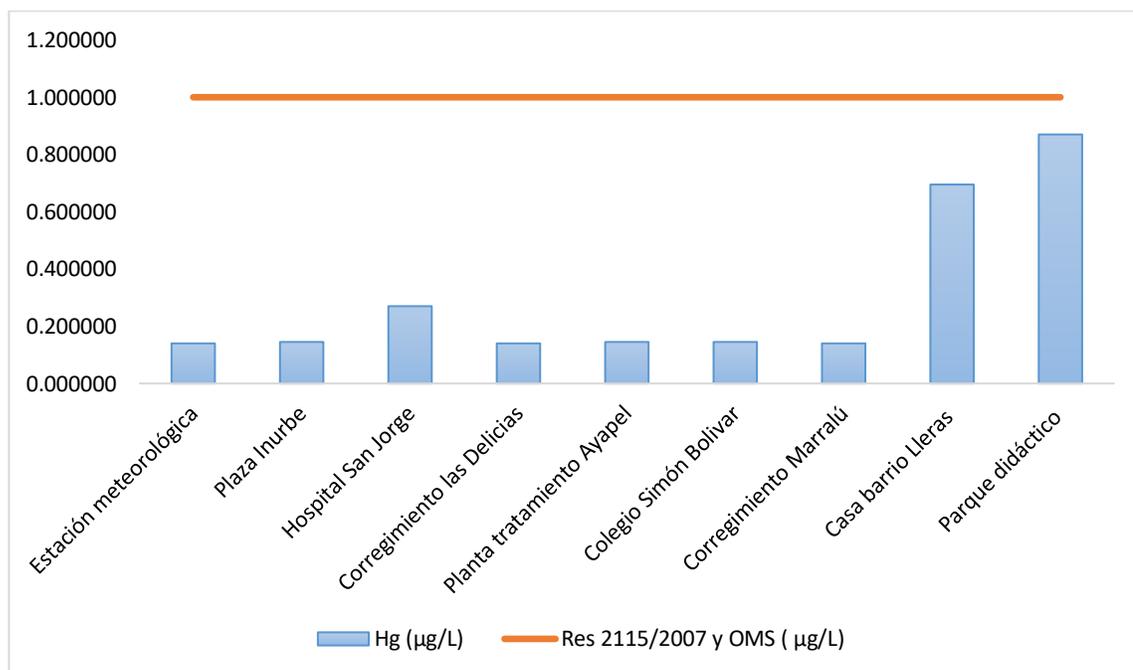
De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que en los puntos muestreados el Potencial Redox (Eh) presentó valores relativamente altos entre los 179.3 y los 312.3 mV (tabla 3), teniendo en cuenta que este parámetro está relacionado con el pH y los contenidos de oxígeno en el agua, lo que estaría en contradicción en cuanto a las características anóxicas que presentan las aguas subterráneas en general.

La mayoría de las muestras presentaron concentraciones de materia orgánica por debajo del límite de detección ( $<0.5 \text{ mg L}^{-1}$ ) (tabla 3), exceptuando los puntos Plaza Inurbe y Hospital San Jorge donde las concentraciones fueron 1.06 y 0.56  $\text{mg L}^{-1}$  respectivamente. De acuerdo a Ravichandran (2003), el mercurio presenta una gran afinidad con la materia orgánica disuelta en el agua, al formar enlaces iónicos muy fuertes con el azufre reducido contenido en la materia orgánica, lo cual permite de alguna forma que el mercurio presente en el agua sea capturado por la materia orgánica disuelta, inhibiendo la formación de otras especies de mercurio. Lo anterior permite suponer que si en el agua subterránea las concentraciones de materia orgánica fueran lo

suficientemente altas, estas causarían una disminución del mercurio en el agua, lo que apoya la hipótesis de que las bajas concentraciones de Hg halladas en las muestras no se deban a las bajas concentraciones de materia orgánica halladas en la mayoría de las muestras.

Experimentos en condiciones anóxicas oscuras en ambientes acuáticos demostraron que bajas concentraciones de MOD (materia orgánica disuelta) podrían reducir Hg (II) a Hg<sup>0</sup> (mercurio gaseoso) y que por el contrario altas concentraciones MOD formaban complejos con mercurio e inhibían su reducción (Gu et. Al, 2011).

### 3.2 CONCENTRACIONES DE Hg OBTENIDOS FRENTE A NIVELES DE REFERENCIA INTERNACIONAL Y NACIONAL.



**Gráfico 1.** Concentraciones de Hg en puntos muestreados.

La concentración mas alta de mercurio en las muestras fue de  $0.87 \mu\text{g L}^{-1}$ , es decir, que ninguna de las concentraciones halladas superó el límite máximo aceptado en agua para consumo humana de acuerdo a la norma nacional y la OMS, como se observa en el gráfico 1.

Pese a que en ninguno de los puntos analizados las concentraciones de Hg no superaran el valor admisible en agua para consumo humano, los resultados no dejan de ser importantes, debido a que se ha podido comprobar la presencia de mercurio en el agua subterránea de la cual se abastecen habitantes del municipio y aunque estos valores no son motivo de alarma general, algunos puntos de muestreo presentaron concentraciones importantes de mercurio (Punto 8 y 9). No hay que olvidar que se trata de un elemento tóxico, que aunque este presente en pequeñas cantidades no deja de representar un peligro para la salud, pues este puede aumentar gradualmente en el organismo, debido a su capacidad de bioacumularse.

Uno de los últimos referentes que se tiene respecto a la presencia de mercurio en el acuífero Betulia lo demuestra el estudio “**Modelamiento y Determinación de la Contaminación Hídrica de Acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún**” (CVS-Universidad de Córdoba 2009), el cual como se observa en la tabla 4 evidencia las altas concentraciones de mercurio presentes en el agua subterránea para aquel año de acuerdo a límites máximos aceptables.

**Tabla 4.** Concentraciones de Hg en 5 puntos, estudio CVS-Universidad de Córdoba, 2009.

Punto	Ubicación	Hg (mg.L-1)	
		M1	M2
Piezómetro	Hospital San Jorge	0.036	0.0012
Piezómetro	Corregimiento las Delicias	<0.0001	<0.0023
Piezómetro	Corregimiento Marralú	0.0023	0.0019
Piezómetro	Casa barrio Lleras	0.0032	0.0012
Piezómetro	Parque Didáctico	0.0025	0.0011

Tomado de: CVS-Universidad de Córdoba 2009. Se hacen referencia a 5 puntos debido que solo se tuvieron 5 puntos de análisis en común.

Los separados márgenes observados en los resultados obtenidos para concentraciones de mercurio en el agua subterránea entre la presente investigación y el estudio realizado en el año 2009 (CVS-Universidad de Córdoba 2009) plantean una serie de hipótesis y posibles respuestas respecto a la presencia del contaminante en el agua subterránea.

Una posible explicación entorno a la disminución del mercurio en los puntos muestreados del acuífero puede residir en las reacciones hidrogeoquímicas, gobernadas por el potencial redox, el pH o la presencia de otros elementos (óxidos de hierro, fosforo, arcillas, etc).

Procesos de sorción se han demostrado entre Hg(II) y óxidos de hierro a pH > 5.5, siendo este un mecanismo que ayuda en la atenuación del Hg en el agua (Andersson 1979; Barringer y Szabo 2006). Para el caso de las condiciones de pH encontradas en las muestras, 6 de las 9 muestras tomadas presentaron valores de pH superiores a 5.5, condición que propicia la disminución de Hg teniendo en cuenta la también detección de hierro en varias de las muestras (tabla 5).

El mercurio puede precipitar en el agua subterránea bajo la forma de mercurio inorgánico como lo es el HgS y el HgSO<sub>4</sub>, sin embargo esta opción se considera poco probable debido a las casi nulas concentraciones de sulfatos halladas en las muestras.

En ambientes acuáticos la mayoría de los metales precipitan como hidróxidos si el pH es alto (pH > 10) (Menéndez 2010); sin embargo, a pesar de los altos valores de potencial redox detectados (tabla 3), se considera poco probable que el mercurio haya precipitado como hidróxido debido a los pH inferiores a 10 detectados en las muestras.

**Tabla 5.** Concentraciones de otros metales en puntos de muestreo.

Piezómetro	µg/L Pb	µg/L Cd	mg/L Al	mg/L Fe
Estación meteorológica	1.11	0.100	<LD(2)	<LD(0,3)
Plaza Inurbe	5.06	<LD(0,1)	<LD(2)	0.46
Hospital San Jorge	2.61	0.159	<LD(2)	0.43
Corregimiento las Delicias	0.35	<LD(0,1)	<LD(2)	<LD(0,3)
Planta tratamiento Ayapel	10.51	<LD(0,1)	<LD(2)	0.48
Colegio Simón Bolívar	30.99	<LD(0,1)	<LD(2)	0.94
Corregimiento Marralú	1.25	0.112	<LD(2)	<LD(0,3)
Casa barrio Lleras	66.48	<LD(0,1)	<LD(2)	0.93
Parque didáctico	50.98	<LD(0,1)	<LD(2)	1.91

El uso de diagramas de equilibrio Eh-pH en estudios sobre contaminación en aguas subterráneas demuestra la utilidad de esta herramienta en el soporte de resultados (Calvo et. Al 2003; Bollen et. al 2007).

El pH de las muestras analizadas osciló entre valores de 4.15 y 7.31, con un promedio de 5.73 y el Eh (Potencial Redox) entre 179 y 312 mV con un promedio de 245.5 mV (Tabla 3). Al llevar los valores de pH y potencial Redox de cada punto muestreado al diagrama Eh/pH (figura 8) se observa que todos los puntos están ubicados en la zona donde el mercurio estaría en su forma  $\text{Hg}^\circ$ . De acuerdo a esto, parte del mercurio contenido en las muestras estaría presente en forma de mercurio elemental ( $\text{Hg}^\circ$ ). Schröder y Munthe (1998) creen probable que el  $\text{Hg}^\circ$  puede desgasificarse fuera del agua subterránea en el aire del suelo debido a su baja solubilidad ( $60 \text{ g L}^{-1}$ ) y su alta presión de vapor ( $729 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$ ). Es probable que una gran parte del mercurio estuviera en su fase de vapor, lo que habría impedido su determinación precisa en el agua.

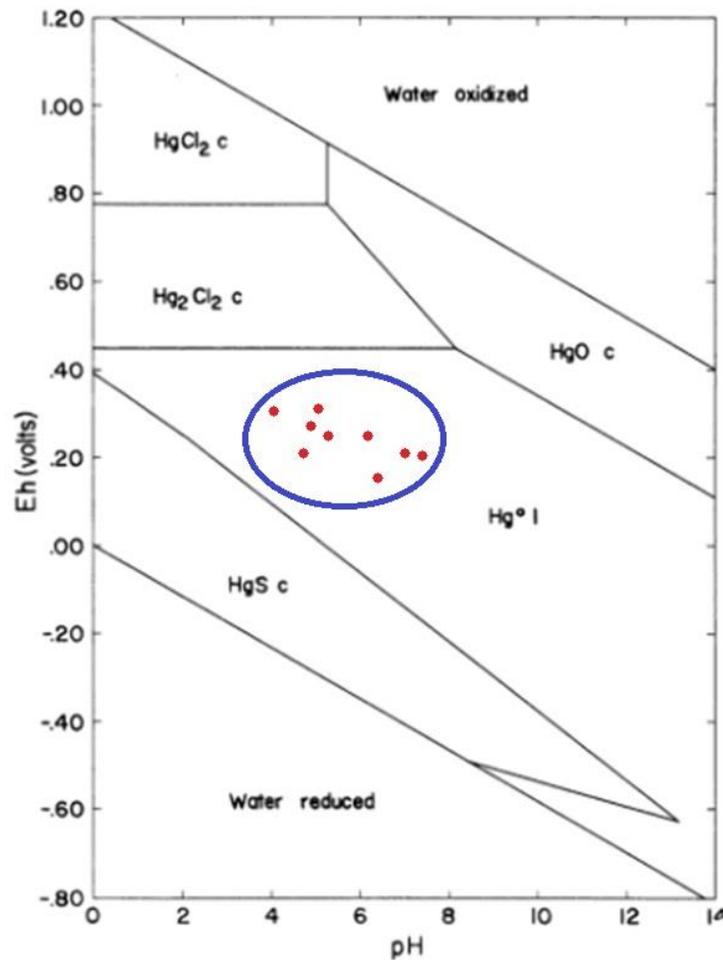


Figura 8. Diagrama de equilibrio Eh/pH para el Hg.

Tomado de: Hem 1970.

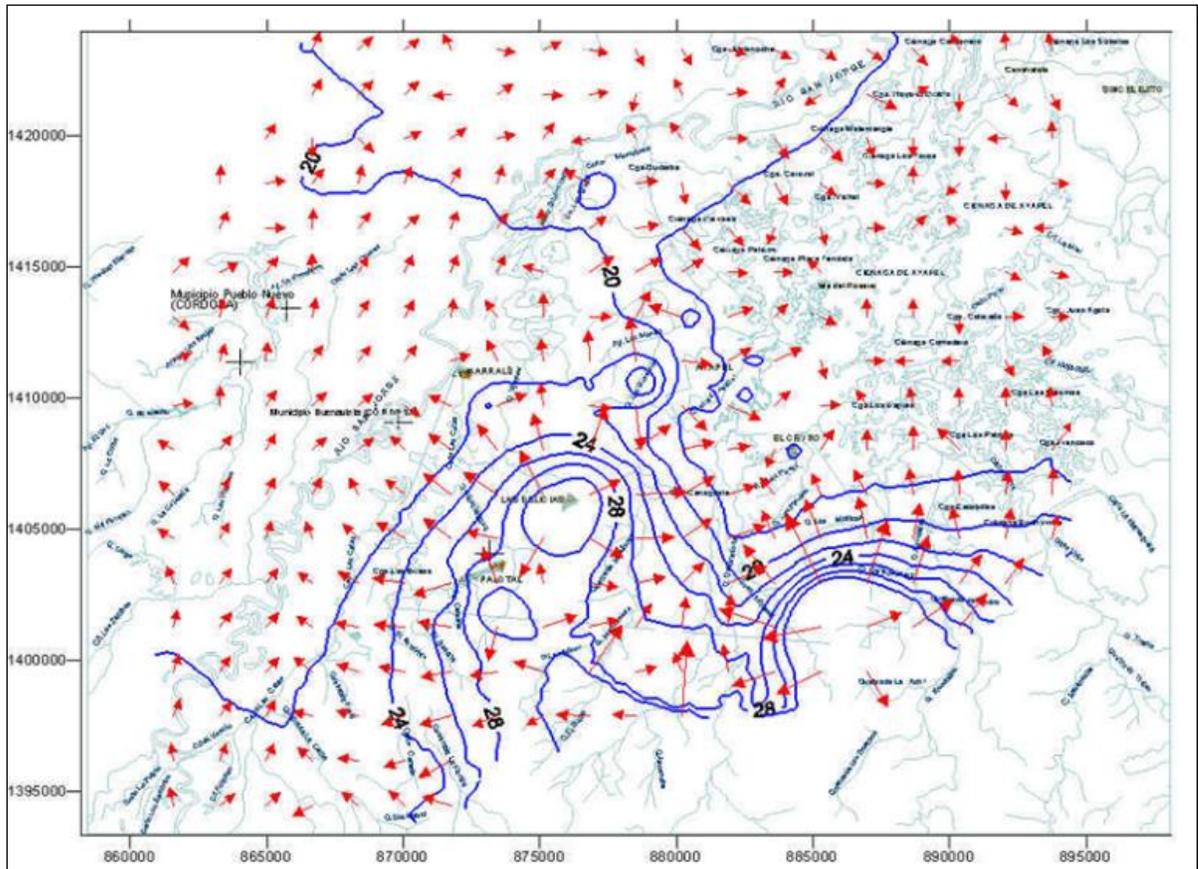
Cabe mencionar la identificación de altos niveles de Plomo en algunas de las muestras como se observa de igual forma en la tabla 5, hecho que evidencia la infiltración de contaminantes en el acuífero.

### **3.3 CORRELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE MERCURIO Y LÍNEAS DE FLUJO SUBTERRANEO DETERMINADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.**

Los planos de isohipsas ofrecen una representación gráfica del relieve y pendiente del nivel freático, sirviendo como base para la determinación de direcciones, velocidades y cantidades de agua subterránea en movimiento. El flujo de agua subterránea como sucede en la superficie es siempre en la dirección de la pendiente (García y Molano, 2015).

En un plano de isohipsas la dirección del flujo subterránea será perpendicular a las líneas equipotenciales y el movimiento del agua se dará desde los mayores valores hacia los menores.

De acuerdo a HIDROGEOCOL-CVS (2004), en el acuífero Betulia la dirección del flujo más representativa está dominada por la dirección nor-este en dirección a la Ciénaga de Ayapel y los complejos cenagosos, no obstante también se observan flujos importantes en dirección oeste hacia el Río San Jorge (Figura 9). La figura a continuación corresponde a la interpolación del nivel promedio de los niveles medidos en veintiún (21) pozos y aljibes de la zona, con el nivel del agua del Río San Jorge, considerando una pendiente del río de  $1 \cdot 10^{-4}$ . Cabe mencionar que esta dirección es seguida por el flujo de acuerdo a la disminución de las cotas de los niveles estáticos presentes en el área de estudio.



**Figura 9. Superficie piezométrica y dirección de flujos generalizadas del área de estudio.**

Tomado de: Estudio Hidrogeológico en la zona de influencia de la ciénaga de Ayapel, que permite definir la relación hidráulica existente entre la ciénaga y los acuíferos asociados (HIDROGEOCOL – CVS, 2014).

En Ayapel, la minería aluvial de manera intensiva se practica desde hace muchos años en las zonas donde se encuentran las quebradas Quebradona, Escobillas y Trejos, las cuales vierten sus aguas a la Ciénega de Ayapel. La minería que se ha desarrollado en estos lugares es de tipo ilegal (sin títulos mineros), ejercida por personal ajeno al municipio. Como es de conocimiento, para extraer el oro contenido en el lodo y suelo de dichas quebradas se utiliza el mercurio, el cual luego de culminado el proceso termina depositado en el medio, esto es, es los restos de las degradadas quebradas. Esta zona se convierte en uno de los focos principales de mercurio dada la intensiva actividad minera que se ha llevado a cabo en los últimos 10 años, lo cual ha permitido que el mercurio

utilizado sea conducido a la Ciénaga y emitido a la atmósfera. Cabe resaltar que la minería en estos lugares a degradado en gran manera dichas quebradas, destruyendo sus cauces, quedando formadas pequeñas lagunas con altas concentraciones de Hg (Anexo 1), por medio de las cuales parte del mercurio utilizado también ha podido infiltrarse hasta llegar a la parte superficial del acuífero.

En la figura 10 se observan varios segmentos de flujo trazados de acuerdo a líneas equipotenciales ( figura 9), los cuales siguen direcciones hacia la Ciénaga de Ayapel y demás complejos cenagosos. El encontrarse concentraciones de mercurio cercanas a límite máximo aceptable en las aguas subterráneas pertenecientes a la zona urbana del municipio se formula la interrogante acerca de la procedencia del metal.



**Figura 10. Líneas de flujo presentes en el área de estudio.**

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las líneas de flujo en la dirección que indican se puede observar su paso por el área urbana del municipio en su dirección hacia el noreste hacia los complejos cenagozos (ver figura 10), con lo cual se puede afirmar que es posible que el mercurio hallado en los piezómetros del casco urbano pudiese provenir de las zonas donde se ubican las quebradas Quebradona y escobillas, área en la cual se han registrado los mayores impactos a causa de la actividad minera de extracción de oro. De la misma forma la influencia de la dirección del flujo subterráneo podría dirigir hacia el norte y noreste de Ayapel las concentraciones de mercurio.

Los niveles de mercurio presentes para el año 2016 no representan una señal de alerta inmediata dado que las cantidades encontradas no superaron los límites máximos aceptados, observándose una notoria disminución de los niveles de mercurio en el agua subterránea, sin embargo se resalta el hecho de que aún estos niveles bajos de mercurio en el agua subterránea representan un riesgo ambiental y de salud a largo plazo dada la capacidad bioacumulable del mercurio en el organismo tanto en animales como en humanos.

## **4. CONCLUSIONES**

- Se confirmó la presencia de mercurio en el agua subterránea de Ayapel, encontrándose las mayores concentraciones en puntos dentro del casco urbano del municipio, anotación que reviste gran importancia debido a que muchos de los habitantes utilizan dichas aguas para sus quehaceres diarios, denotándose una exposición diaria respecto a los contenidos de mercurio en el agua, con lo cual estaría en peligro la salud de los pobladores teniendo en cuenta la bioacumulación de mercurio en el organismo en un largo plazo.
- Las concentraciones de mercurio encontradas en los puntos analizados no sobrepasan los límites máximos admisibles, sin embargo se encontraron dos puntos donde las concentraciones de mercurio son lo suficientemente altas, cercanas al nivel máximo aceptable, por lo cual se alerta la necesidad de continuar con el monitoreo y vigilancia en los diferentes pozos y piezómetros, para así llevar un control de las concentraciones de Hg para los años posteriores.
- La implementación del diagrama Eh-Hg para mercurio, permitió detectar de acuerdo a los rangos de valores de pH y potencial redox (Eh) detectados, que parte del mercurio presente en el agua subterránea podría estar presente como mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ), con lo cual este podría desgasificarse fuera del agua subterránea en los espacios vacos del suelo, permaneciendo en su fase de vapor lo que impediría su detección en el agua.
- Se evidenció un descenso aparente en las concentraciones de mercurio en el agua subterránea del nivel superior del acuífero Betulia de acuerdo a los puntos analizados, las cuales comparadas con las concentraciones registradas 5 y 6 años atrás, sugieren que la presión ejercida por las autoridades ambientales sobre los grupos que ejercen actividad minera ilegal en la zona ha ayudado a disminuir la actividad minera ilegal y por ende los efectos e impactos ambientales sobre las aguas subterráneas, producto de la descargas y depósitos de residuos mineros sobre el suelo y las aguas.

## **5. RECOMENDACIONES**

- A fin de que las concentraciones de mercurio en la Ciénega de Ayapel y las aguas subterráneas logren disminuir se recomienda una mayor vigilancia por parte de las autoridades sobre las áreas mayormente afectadas y sus alrededores, así como también, el muestreo periódico de las aguas subterráneas con el fin de controlar y mitigar los niveles de mercurio en el agua.
- Se recomienda para las futuras investigaciones que pretendan espacializar datos referentes a mercurio u otros parámetros en el agua subterránea, tomar el mayor número posible de muestras, ya sean en piezómetros, algibes y pozos con el fin de disminuir los errores arrojados por el método elegido y obtener una predicción lo más acertada posible de acuerdo al elemento o parámetro en estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- Andersson, A. 1979. Mercury in soils. The biogeochemistry of mercury in the environment, 79-106.
- APHA, AWWA. 2005. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washington, D. C.
- Auge, M. 2006. *Agua Subterránea: Deterioro de la calidad y reserva* (en línea). Internet,  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15908/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15908/Documento_completo.pdf?sequence=1). [2 septiembre 2015]
- Barringer, J. L., Szabo, Z. 2006. Overview of investigations into mercury in groundwater, soils, and septage, New Jersey Coastal Plain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 175(1-4), 193-221.
- Barringer J. L., Szabo Z. y Reilly P. A. 2013. Occurrence and Mobility of Mercury in Groundwater, *Current Perspectives in Contaminant Hydrology and Water Resources Sustainability*, Dr. Paul Bradley (Ed.), (en línea). Internet,  
<http://www.intechopen.com/books/current-perspectives-in-contaminant-hydrology-and-water-resources-sustainability/occurrence-and-mobility-of-mercury-in-groundwater>
- Bollen, A., Wenke, A., Biester, H. 2008. Mercury speciation analyses in HgCl<sub>2</sub>-contaminated soils and groundwater—implications for risk assessment and remediation strategies. *Water Research*, (en línea), 42(1), 91-100.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313540700471X>. Acceso: 10 septiembre (2016).

- Calvo, C., Álvarez, J., Andrade, M. A., Marinero, P. M., & Bolado, S. B. 2003. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid: variaciones estacionales. Estudios de la zona no saturada del suelo, 1. [en línea]. Internet, [http://abe.ufl.edu/Faculty/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/estudios\\_de\\_la\\_zona\\_v6/p091-098.pdf](http://abe.ufl.edu/Faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p091-098.pdf). Acceso: 10 septiembre (2016).
- **Cely, J. W., Siabato, W. L., Sánchez, A. H., Rangel A. P.,** Geoestadística aplicada a estudios de contaminación ambiental, Ingeniería, revista académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Distrital Jose Francisco de Caldas, ISSN 0121-750X (en línea), 7 (2), (2002). <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/2815/4089>. Acceso 1 Julio (2016).
- Contraloría departamental, contraloría de Córdoba. 2010. Informe final, queja n° 037: Presunto daño al recurso natural por caer residuos a la ciénaga de Ayapel, producto de la explotación de Oro, municipio de Ayapel.
- Convenio interadministrativo N° 019-2009. CVS - Universidad de Córdoba. 2010. Modelamiento y determinación de la contaminación hídrica de acuíferos de Ayapel, Chinú y Sahagún, departamento de Córdoba.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS). 2012. Plan de acción institucional 2012 – 2015.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS). 2016. Plan de acción institucional 2016 – 2019.
- Defensoría del pueblo. 2015. La minería sin control: un enfoque desde la vulnerabilidad de los derechos humanos. Imprenta nacional de Colombia. Colombia. p13-132.

- **Diaz, F. A.**, Mercurio en la minería del Oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano, Revista salud pública, ISSN: 947-957 (en línea), 16(6), 947-957, 2014. <http://www.scielosp.org/pdf/rsap/v16n6/v16n6a12.pdf>. Acceso: 1 Julio (2016).
- Dozier M. C. y McFarland M. s.f. Estándares del agua potable. (en línea). Internet, [http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87331/pdf\\_2163.pdf](http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87331/pdf_2163.pdf). [1 septiembre 2015]
- Galán E., Romero A. Contaminación de suelos por metales pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. España, ISSN 1885-7264 (en línea), 2008. Acceso: 3 septiembre (2016).
- Español, S. Contaminación con mercurio por la actividad minera. Biomédica, revista del instituto nacional de salud, ISSN 0120-4157 (en línea), 32 (3), 2012. <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437>. Acceso: 26 junio (2016).
- **García, A. G.** Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní - San Luis departamento del Huila, Revista tecnológica (en línea), 12 (1), 91-98, 2013. [http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_tecnologia/volumen12\\_numero1/010\\_articulo\\_tecnologia\\_UB.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen12_numero1/010_articulo_tecnologia_UB.pdf). Acceso: 1 Julio (2016).
- Garcia, M. Molano M. 2015. Informe de calidad y niveles de la red de piezómetros municipio de Santiago de Cali. [en línea]. Internet, [www.cali.gov.co/descargar.php?idFile=8476](http://www.cali.gov.co/descargar.php?idFile=8476) [5 agosto 2016].

- **Gracia L., Marrugo J.L., Alvis E. M.** 2010. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2010; 28(2): 118-124.
- Gu B., Bian Y., Miller C. L., Dong W., Jiang X., LiangL. 2011. Mercury reduction and complexation by natural organic matter in anoxic environments. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(4), 1479-1483.
- **Gundogdu, K. S. y Guney, I.** 2007. Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging, Journal Earth System Science, 116(1): 49-55.
- **Hem, J. D.** 1970. Chemical behavior of mercury in aqueous media. Mercury in the Environment (Vol. 713, pp. 19-24). Washington, DC: US Government Printing Office.
- **Hidrogeocol-CVS,** 2004. Estudio hidrogeológico en la zona de influencia de la Ciénega de Ayapel, que permite definir la relación hidráulica existente entre la Ciénega y los acuíferos asociados (Córdoba). INF-725-08-2004.
- Hornsby, A. G. 2000. Agua Subterránea: El recurso Oculto (en línea). Internet, <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/31/22/00001/SS31300.pdf> [3 septiembre 2015] <http://biyosistem.uludag.edu.tr/esb0617.pdf>
- **Menéndez, A. N., y Tarela, P.** 2010. Transporte de contaminantes en el medio acuático. Mar del Plata. [en línea]. Internet, [http://50.30.34.57/~modelacion/images/pdf/docencia/utn/Apunte\\_ContamAguas.pdf](http://50.30.34.57/~modelacion/images/pdf/docencia/utn/Apunte_ContamAguas.pdf) Acceso: 28 septiembre (2016).
- Mora H. J. 2002. Migración de plomo a través de facies hidroquímicas del agua subterránea. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. España.

- **Murillo D.**, Ortega I., Carrillo J., Pardo A., Rendón J. Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. ISSN: 2027-5846 (en línea), 3(1), 62-68, 2012. <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n1/v3n1a7.pdf>. Acceso: 5 julio (2016).
- **Olivero, J.** 2010. Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). [en línea]. Internet, [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/forum\\_topic/3655/files/efectos\\_mineria\\_colombia\\_sobre\\_salud\\_humana.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/forum_topic/3655/files/efectos_mineria_colombia_sobre_salud_humana.pdf) [2 agosto 2016].
- Olivero, J., Johnson B. 2002. El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia. [en línea]. Internet, [http://www.reactivos.com/images/LIBRO\\_MERCURIO\\_-\\_Olivero-Johnson-Colombia.pdf](http://www.reactivos.com/images/LIBRO_MERCURIO_-_Olivero-Johnson-Colombia.pdf) [26 junio 2016].
- **Oyarzún, R.** 2007. Transporte de contaminantes en aguas subterráneas. CEAZA, Chile, [http://www.aulados.net/Temas\\_ambientales/Contaminantes\\_aguas\\_subterraneas/Transporte\\_contaminantes.pdf](http://www.aulados.net/Temas_ambientales/Contaminantes_aguas_subterraneas/Transporte_contaminantes.pdf).
- Pérez, J. 2008. Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea del valle de Querétaro para el estudio de sistema de flujo. Tesis Maestro en Ciencias Ambientales. Centro universitario Santiago de Querétaro, Querétaro, Mexico.
- **Ravichanman, M.**, Interactions between mercury and dissolved organic matter, a review, Journals Chemosphere, ISSN: 0045-6535 (en línea), 55(3), 319-331, 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503011032>. Acceso: 2 julio (2016).

- Resolución n° 1-7082. Por medio de la cual se adoptan unas medidas sobre el complejo cenagoso del municipio de Ayapel en el departamento de Córdoba. Montería, Córdoba. **CVS**. 6 mayo de 2013.
- Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D. C. Ministerio de la protección social - ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 22 de junio de 2007.
- **Sánchez, L. Sierra, M. J. Millán, R.** Aplicabilidad de Técnicas de Volatilización Controlada de Mercurio en el Cerco Minero de Almadenejos. ISSN: 1135 – 9420, (en línea), España, Editorial CIEMAT, 2013. Internet, [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/44/039/44039345.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/039/44039345.pdf). Acceso: 12 octubre (2016).
- **Schroeder, W. H.; Munthe, J.** 1998. Atmospheric mercury—an overview. *Atmospheric Environment*, 32(5), 809-822.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2000. Estableciendo estándares para agua potable segura. [En línea]. Internet, <http://water.epa.gov/drink/agua/estableciendo.cfm> [6 octubre de 2015]
- United Nations Environment Programme (UNEP) 2013. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. (en línea). Internet, <http://www.unep.org/PDF/PressReleases/GlobalMercuryAssessment2013.pdf> [28 abril 2016].
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts; SW-846, Method 3015A, Washington, DC, 2007.

- Villatoro M., Henríquez C., Sancho F. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, ISSN: 0377-9424, 32(1): 95-105, (en línea), 2008.
- Wanga Q., Kima D., Dionysioua D. D., Soriala G. A., Timberlakeb D. Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems. *Environmental Pollution*, ISSN: 0269-7491, 131-323, (en línea), 2004. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974910400051X>. Acceso: 28 abril 2016.
- **Webster R. y Oliver M. A.** 2001. *Geostatistics for environmental scientists. Statistics in Practice*, Series Editor Vic Barnett, ISBN: 0-471-96553-7. England. P 37.
- Weinberg, J. 2010. *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN)*. (en línea). Disponible en: [http://www.ipen.org/ipenweb/documents/book/ipen% 20mercury% 20booklet\\_spanish. pdf](http://www.ipen.org/ipenweb/documents/book/ipen%20mercury%20booklet_spanish.pdf).

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1. COMUNICADOS DE PRENSA**

**REGIÓN** Lunes 26 de Marzo de 2012 - 2:36am

## Daños ambientales de la minería ilegal ya se sienten en la región del San Jorge

 Compartir  Tweet  8  +1

POR:



Las aguas de la ciénaga de Ayapel y el río San Jorge y otras fuentes naturales de la región del San Jorge tienen un alto porcentaje de mercurio, según estudios de la Universidad de Córdoba.

La razón del alto grado de contaminación es consecuencia de la minería ilegal de oro en esa región, debido a que, cada día gran cantidad de mercurio se vierten en las fuentes de agua. Sin embargo, es poco lo que las autoridades ambientales han hecho para controlar esa situación.

Siempre que se habla de minería ilegal de inmediato sale a relucir el hecho de que esta financia a los grupos armados ilegales, pero poco se habla de que miles de personas están consumiendo agua contaminada en Puerto Libertador, San José de Uré, Ayapel y Montelíbano, solo en Córdoba.

**Clasificados**  
EL HERALDO



\*\*\*  
NACIONAL

**¿BUSCANDO CARRO?**



VAYA A LA FIJA

**Clasificados**  
EL HERALDO

La gran vitrina virtual de autos nuevos y usados.

[VER LA LISTA COMPLETA](#)

### ÚLTIMAS NOTICIAS

22 Agosto de 2015 - 6:37pm  
Rihanna anuncia 'Love on the brain' como cuarto sencillo de ANTI



PUBLICIDAD

OBTEÉN  
3 títulos en 3 años y paga en 5 años  
Elige tu carrera

Home

MEDIO AMBIENTE 26 AGO 2013 - 10:00 PM

La Corporación Autónoma Regional denuncia grave daño ambiental

## Mercurio en el agua de Ayapel

El agua que consumen los habitantes de este municipio contiene diez veces más partículas de mercurio que las aceptadas por la Organización Mundial para la Salud. Minería de oro sobre el río Cauca sería la responsable.

Por: Redacción Vivir

COMPARTIDO

412



INSERTAR



La Corporación Autónoma asegura que los 50.000 habitantes de Ayapel están consumiendo agua contaminada / Wikipedia

Según La Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS), los 50.000 habitantes de Ayapel (Córdoba) corren peligro por cuenta de la acumulación de mercurio en sus organismos y a causa de la presencia de coliformos fecales (bacterias en el intestino de humanos y de algunos animales) en el agua y pescados que consumen.

La subdirección de Gestión Ambiental de la CVS presentó un informe que confirma la existencia de partículas de mercurio en el agua de Ayapel con niveles diez veces superiores a los aceptados por la Organización Mundial de la Salud (0,5 microgramos de mercurio por decilitro de agua). Los hallazgos llegan cuatro meses después de que el alcalde de ese municipio, Fabio Patemina, denunciara que los aguas de la sienega, que lleva el mismo nombre del municipio, estarían ocasionando enfermedades en la piel de los habitantes.

Los estudios de la CVS muestran que el acuífero superior de Ayapel, entendido como los primeros 50 metros de profundidad de la sienega se encuentra contaminado por el metal y las bacterias, y con estas características abastece al acueducto y llega a los hogares.

PUBLICIDAD



98% de personas son capaces de hablar la lengua extranjera. Todo lo que tienes que hacer es...

Los efectos impactantes del método de aprendizaje de idiomas experimental



VEA MÁS DE MEDIO AMBIENTE

HACE 5 HORAS

Rana bautizada en honor a Riborgerto Urán

30 JUN - 10:00 PM

El guacamayo de la película Río reaparece luego de que se creyera extinto

SUTARGET

Enlaces patrocinados



Especialízate  
Unisanitas

Prepárate en la Clínica Colombia con los mejores.  
www.especializacionmedica.info



Salud para ti, mujer

Ginecología y obstetricia para prevenir  
www.mamamco-qa.com.co



Beca Gestión de Proyectos

Obtén el certificado y multiplica tu salario ¡ya!  
www.madecolombia.com.co

Estilo que dura más





**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

Reporte de análisis No.: 16-0143	Fecha de emisión: 4/5/2016
----------------------------------	----------------------------

Cliente: UNIVERSIDAD DE CORDOBA	Ordenado por: LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
Dirección: Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	NIT ó C.C 891.080.031-3

Tipo de muestra: Agua Natural	Punto de recolección: ESTACIÓN METEREOLÓGICA AYAPEL
Recolectada por: Jose Luis Marrugo	Fecha/Hora de Recolección: N.R.
Fecha/Hora de Recepción: 3/30/2016 8:00	Análisis Solicitados: Físicoquímico
Plan de muestreo: Muestra externa	No. de submuestra: Una (1)
Código interno muestra(s): EN-300316-01	

Parametros Físicoquímicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	5.43	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

---

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
Coordinador de Calidad  
Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

Reporte de análisis No.: 16-0144	Fecha de emisión: 4/5/2016
----------------------------------	----------------------------

Cliente: UNIVERSIDAD DE CORDOBA	Ordenado por: LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
Dirección: Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	NIT ó C.C 891.080.031-3

Tipo de muestra: Agua Natural	Punto de recolección: PLAZA INURBE – AYAPEL
Recolectada por: Jose Luis Marrugo	Fecha/Hora de Recolección: N.R.
Fecha/Hora de Recepción: 3/30/2016 8:00	Análisis Solicitados: Fisicoquimico
Plan de muestreo: Muestra externa	No. de submuestra: Una (1)
Codigo interno muestra(s): EN-300316-02	Fecha de análisis:

Parametros Fisicoquimicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	111.43	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO4 E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400

Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	1.04	mg/L	N.R.
------------------	--------------------------------------	-------	------	------	------

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
Coordinador de Calidad  
Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

Reporte de análisis No.: 16-0145	Fecha de emisión:
----------------------------------	-------------------

<b>Ciente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> HOSPITAL SAN JORGE-AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)
<b>Codigo interno muestra(s):</b> EN-300316-03	<b>Fecha de análisis:</b>

Parametros Fisicoquimicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	<LDM(5,34)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.

Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO4 E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	0.56	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
Coordinador de Calidad  
Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
---	--

Fecha de revisión: 05/01/2015

Fecha de revisión: 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA  
REPORTE DE RESULTADOS**

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

Reporte de análisis No.: 16-0146

Fecha de emisión: 4/5/2016

<b>Cliente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> CORREGIMIENTO LAS DELICIAS-AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)
<b>Codigo interno muestra(s):</b> EN-300316-04	<b>Fecha de análisis:</b>

Parametros Fisicoquimicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
---------------------------	--------	------------	-----------	----------	---------------------

Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	26.00	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
 Coordinador de Calidad  
 Químico

---

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: [ambielabltda2@gmail.com](mailto:ambielabltda2@gmail.com)-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

---

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Revisión:** 05/01/2015

**Versión:** 03

**Código de Formato:** FA-CLI-001

**Pagina** 1 de 1

<b>Reporte de análisis No.:</b> 16-0147	<b>Fecha de emisión:</b> 4/5/2016
---	-----------------------------------

<b>Ciente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> PLANTA DE TRATAMIENTO - AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)
<b>Codigo interno muestra(s):</b> EN-300316-05	<b>Fecha de análisis:</b>

Parámetros Físicoquímicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	140.95	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Orgánica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	0.52	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
Coordinador de Calidad  
Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Revisión:** 05/01/2015

**Versión:** 03

**Código de Formato:** FA-CLI-001

**Página** 1 de 1

<b>Reporte de análisis No.:</b> 16-0148	<b>Fecha de emisión:</b> 4/5/2016
---	-----------------------------------

<b>Cliente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> COLEGIO SIMON BOLIVAR - AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)
<b>Codigo interno muestra(s):</b> EN-300316-06	<b>Fecha de análisis:</b>

Parametros Fisicoquimicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	12.38	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
 Coordinador de Calidad  
 Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

### AMBIELAB LTDA REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

<b>Reporte de análisis No.:</b> 16-0149	<b>Fecha de emisión:</b> 4/5/2016
---	-----------------------------------

<b>Cliente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> CORREGIMIENTO MARRALU - AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquímico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)
<b>Código interno muestra(s):</b> EN-300316-07	<b>Fecha de análisis:</b>

Parametros Físicoquímicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	74.48	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
 Coordinador de Calidad  
 Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltda2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

**AMBIELAB LTDA**  
**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Revisión:** 05/01/2015

**Versión:** 03

**Código de Formato:** FA-CLI-001

**Pagina** 1 de 1

<b>Reporte de análisis No.:</b> 16-0150	<b>Fecha de emisión:</b> 4/5/2016
---	-----------------------------------

<b>Cliente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> CASA BARRIO LLERAS - AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico
<b>Plan de muestreo:</b> Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b> Una (1)

<b>Código interno muestra(s):</b>	EN-300316-08	<b>Fecha de análisis:</b>
-----------------------------------	--------------	---------------------------

<b>Parametros Físicoquímicos</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resolución 1594/84*</b>
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	<LDM(5,34)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO <sub>4</sub> E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
 Coordinador de Calidad  
 Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: ambielabltada2@gmail.com-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

## AMBIELAB LTDA REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Revisión: 05/01/2015

Versión: 03

Código de Formato: FA-CLI-001

Página 1 de 1

<b>Reporte de análisis No.:</b> 16-0151	<b>Fecha de emisión:</b> 4/5/2016
---	-----------------------------------

<b>Cliente:</b> UNIVERSIDAD DE CORDOBA	<b>Ordenado por:</b> LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA
<b>Dirección:</b> Cra 6 # 76-103 Montería - Córdoba	<b>NIT ó C.C</b> 891.080.031-3

<b>Tipo de muestra:</b> Agua Natural	<b>Punto de recolección:</b> PARQUE DIDACTICO CASCO URBANO-AYAPEL
<b>Recolectada por:</b> Jose Luis Marrugo	<b>Fecha/Hora de Recolección:</b> N.R.
<b>Fecha/Hora de Recepción:</b> 3/30/2016 8:00	<b>Análisis Solicitados:</b> Fisicoquimico

<b>Plan de muestreo:</b>	Muestra externa	<b>No. de submuestra:</b>	Una (1)
<b>Codigo interno muestra(s):</b>	EN-300316-09		

Parametros Fisicoquimicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 1594/84*
Alcalinidad Total	Titulométrico	SM:2320 B	5.71	mg CaCO <sub>3</sub> /L	N.R.
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO4 E	<LDM(5,19)	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L	MAX 400
Materia Organica	Permanganométrico – Titulométrico	-----	< 0,5	mg/L	N.R.

N.R. No Referenciado

**NOTA IMPORTANTE:**

Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en éste informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA.

AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

**Revisado por:**

---

Christian M. Bolaño Arrieta  
 Coordinador de Calidad  
 Químico

Calle 23 No. 2-31 Tel: 7919509\* Telefax: 7920637\* Celular: 3116851981 - 3107073978

E-mail: [ambielabltda2@gmail.com](mailto:ambielabltda2@gmail.com)-NIT.812.004.917-2

Montería-Córdoba.

<b>Revisado Coordinador de calidad:</b> Christian M. Bolaño	<b>Aprobado por Gerente General:</b> Estela Vergara Tapias
<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015	<b>Fecha de revisión:</b> 05/01/2015

[Anexo 2. Reporte de resultados de laboratorio.](#)

