



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DE CARIACO, ESTADO SUCRE,
VENEZUELA
(Modalidad: Tesis de Grado)

MARICELI COROMOTO LÓPEZ SANABRIA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

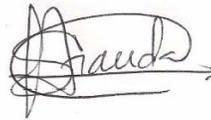
CUMANÁ, 2012

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS DE CARIACO, ESTADO SUCRE,
VENEZUELA

APROBADO POR:



Prof. Maj Britt Mostue
Asesora



Jurado



Jurado

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	15
Área De Estudio.....	15
Toma De Muestras.....	16
Medición de los parámetros hidrográficos.....	16
Temperatura.....	16
Conductividad y sólidos totales disueltos (STD).....	17
pH.....	17
Posición geográfica.....	17
Análisis químico	18
Determinación de Zn ²⁺ , Pb ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Mg ²⁺ , Cd ²⁺ , Ni ²⁺ , Cu ²⁺ y Ca ²⁺	18
Determinación de K ⁺ y Na ⁺ mediante el método de emisión atómica.....	18
Determinación de Cl ⁻ mediante el método de Mohr	18
Determinación de NO ₂ ⁻	19
Determinación de NO ₃ ⁻	19
Determinación de sulfato por fotolorimetría.....	20
Determinación de carbonato y bicarbonato por titulación.....	20
Determinación de fosfato (PO ₄ ³⁻)	21
Determinación de sílice	21
Determinación de los isótopos estables deuterio (² H) y oxígeno-18 (¹⁸ O).....	22
Análisis estadísticos.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Parámetros Físicoquímicos.....	24
Temperatura.....	24
Conductividad.....	27
Sólidos Totales Disueltos (STD)	29
pH.....	30

Aniones Mayoritarios (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}).....	33
Bicarbonatos	33
Cloruros	35
Sulfatos	37
Cationes Mayoritarios (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y Mg^{2+})	39
Calcio	39
Sodio	42
Potasio.....	43
Magnesio.....	45
Balance De Carga	47
Diagrama De Piper Y Gibbs	47
Sílice	49
Análisis De Los Isótopos Oxígeno 18 (^{18}O) Y Deuterio (^2H)	51
Metales Trazas (Cd, Pb, Fe, Zn, Cu, Mn, Ni).....	54
Hierro (Fe^{2+})	56
Nutrientos	57
Nitratos (NO_3^-).....	58
Nitritos (NO_2^-).....	59
Fosfato (PO_4^{3-})	60
Amonio (NH_4^+)	61
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	64
APÉNDICE A.....	69
APÉNDICE B.....	72
HOJA DE METADATOS.....	73

DEDICATORIA

A mis padres Alfredo[†] y Zenobia, a mis hermanos Yacceni, José, Alfredo, Marlene, Gustavo, Omar[†], Raíza, Carlos y Zarid.

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias a Dios por haberme dado fuerza y voluntad para lograr esta meta.

Le agradezco enormemente a la Dra. MajBrittMostue, por confiar en mí y por tenerme paciencia

A los profesores José Luis Benítez, Sheila Aranda, Ángel Marcano, Gregorio Martínez, al Br. Víctor López, al Br Orlando Molinet, al Lcdo Fernando Marín, y al Lcdo. Aníbal Vallejo.

Al personal del departamento de oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV), en especial a los TSU Deudedit Hernández y Edymir Parra.

Al Instituto de Investigaciones de Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCA), en especial al señor Elier Díaz, por su valiosa colaboración para llevarme al sitio de muestreo.

Al Instituto Universitario de Tecnología de Cumaná (IUT) en especial a la TSU NorysRodriguez.

Gracias infinitas a todos los profesores y técnicos que integran el Departamento de Química de la Universidad de Oriente (UDO) y en especial a MilviaFrontado.

Dar gracias especiales a los profesores, y técnicos del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), en Mérida, estado Mérida.

A todas mis compañeras de residencia con las que compartí la mayoría de mis inquietudes y siempre estuvieron dispuestas a colaborarame.

A Marlinys Marchan por su incondicional, valioso y oportuno apoyo. Valiosas recomendaciones que ayudaron en la conclusión de este trabajo.

Agradezco a mis amigos que de manera paciente e incondicional me tendieron su mano cada vez que los necesité, en especial a Judith Cordero y familia, a Roseline Zavala y Jorge Muñoz y familia.

Y por último doy gracias a mi hermosa y paciente familia, a mi madre Zenobia, un tesoro de dios, a mi hermano Gustavo, a mi cuñada Aidee por apoyarme con paciencia en la realización de esta meta.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes mayoritarios en las aguas subterráneas.....	4
Tabla 2. Componentes minoritarios en las aguas subterráneas.....	6
Tabla 3. Zonas de muestreo y sus respectivas coordenadas de la región de Cariaco	17
Tabla 4. Valores de los parámetros físico-químicos medidos <i>in situ</i> en las fuentes de aguas termales (temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad (C) y sólidos totales disueltos (STD)).....	25
Tabla 5. Concentraciones de las especies aniónicas mayoritarias (expresadas en mg/l, con su respectivo error) de las aguas Cariaco.....	34
Tabla 6. Concentraciones de las especies catiónicas mayoritarias (Ca^{2+} y Na^{+}) expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.....	40
Tabla 7. Concentraciones de las especies catiónicas mayoritarias (K^{+} y Mg^{2+}) expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.....	41
Tabla 8. Concentraciones promedios del dióxido de sílice expresado en mg/l, de las aguas Cariaco.....	50
Tabla 9. Estudio de los isótopos ^{18}O y ^2H , expresados en valores delta por mil ($\delta\text{‰}$), de las aguas de la región Cariaco, medidos en el laboratorio a 25°C.....	51
Tabla 10. Concentraciones promedios de las especies minoritarias en periodo seco expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.....	55
Tabla 11. Concentraciones promedios de las especies minoritarias en periodo de lluvia expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.....	56
Tabla 12. Valores promedios de nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} y NH_4^+), expresados en mg/l, de las aguas de Cariaco determinadas en el laboratorio.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Piper.....	5
Figura 2. Diagrama de Gibbs.....	5
Figura 3. Relación oxígeno 18- deuterio en las precipitaciones (Craig, 1962).	10
Figura 4. Zona de muestreo.	15
Figura 5. Variación de la conductividad y de la temperatura.	29
Figura 6. Variación del pH.	32
Figura 7. Distribución de las concentraciones promedios de los aniones mayoritarios en la región de Cariaco, estado Sucre.....	39
Figura 8. Distribución de la concentraciones promedio de los cationes mayoritarios calcio, magnesio sodio y potasio.	47
Figura 9. Diagrama de Piper de aniones y cationes mayoritarios.....	48
Figura 10. Diagrama de Gibbs.....	49
Figura 11. Relación isotópica entre ^{18}O y ^2H	54

RESUMEN

Se realizaron estudios hidrogeoquímicos a once pozas en la región de Cariaco en periodos de lluvia y sequía. Se determinaron *in situ* parámetros fisicoquímicos, tales como: temperatura, pH, conductividad y sólidos totales disueltos. Según la temperatura medida, las aguas son de tipo hipotermales, que varían entre 26,3 y 33,6°C. El pH arrojó que son aguas de tipo neutras, donde sus valores fluctúan desde 6,27 a 7,19. Poseen moderada mineralización, con conductividades desde 280 a 1507 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con sólidos totales disueltos hasta 630 mg/l. El estudio aniónico indicó la siguiente secuencia $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ y el catiónico $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, indicando que estas aguas son de tipo bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas. Además, se realizó estudio de SiO_2 , obteniéndose valores desde 7,56 a 44,54 mg/l. No se detectó contaminación por nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} y NO_3^-), debido a que se obtuvieron valores bajos de estos componentes. Entre los metales trazas estudiados: Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} y Cu^{2+} , sólo se destaca el Fe^{2+} con una concentración máxima de 1,11 mg/l mientras que los otros no sobrepasan de 0,01 mg/l. Por último se realizaron análisis isotópicos y se determinó la presencia de los isótopos estables oxígeno-18 (^{18}O) y deuterio (^2H), donde, se mostró que son aguas debido a evaporación, ya que la recta meteórica local tiene tendencia a este tipo de agua.

INTRODUCCIÓN

La supervivencia del hombre depende del agua. Ésta es imprescindible para la vida, siendo el componente inorgánico más abundante de los seres vivos. Constituye en el hombre el 86% de su peso corporal durante la niñez y el 60% en la edad adulta. Sumando los requerimientos para el uso doméstico, la industria, la agricultura y otros usos, cada ser humano gasta alrededor de 500 litros de agua al día, por lo que puede afirmarse que la civilización moderna no puede existir sin una enorme cantidad de agua (Larionov, 1979).

El agua cubre más del 70% de la superficie del planeta y se encuentra distribuida en océanos, lagos, ríos, glaciares, aire y suelos. De esta agua, la parte más importante corresponde al mar, que aporta el 97,5% de la misma. Sin embargo, hasta el presente, la desalación del agua de mar es muy costosa. La mayor concentración de agua dulce se encuentra en los casquetes polares (2%). El agua subterránea aprovechable (hasta los 100 m de profundidad), sólo es el 0,5% y el agua de los lagos y ríos accesibles del mundo el 0,02% (Fernández, 1999).

Las características químicas y biológicas del agua determinan sus usos industriales, agrícolas y domésticos. El estudio de la composición química de las aguas proporciona indicaciones importantes acerca de la historia geológica de las rocas que la contienen, de su velocidad y dirección de flujo, así como sobre la eventual presencia de yacimientos minerales ocultos. Muchos de los grandes yacimientos han sido localizados juntos a manantiales que poseen una composición química inusual. Las aguas que poseen un elevado contenido de materias sólidas disueltas pueden proporcionar litio, potasio, cloruro, sodio y otras sustancias químicas en cantidades comerciales (Davis y De Wiest, 1971).

HIDROGEOQUÍMICA

La hidrología es una de las ciencias más antiguas que se conocen, ya que las primeras

comunidades se asentaron en las proximidades de los ríos y lagos con el objetivo de utilizar el agua para el consumo de la población, el riego de los cultivos y la transportación. El primer problema de la hidrología lo constituyó la transformación mecánica del agua, su traslado y distribución (Llamas, 1993).

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es un proceso continuo en el cual el agua es evaporada desde los océanos, se mueve hacia los continentes como humedad del aire y produce lluvia. La precipitación que cae sobre los continentes y tierras firmes se distribuye por varios caminos: una parte es retenida en el suelo y vuelve a la atmósfera por evaporación, o puede pasar a la atmósfera en forma de vapor mediante transpiración de las plantas (la combinación de ambos fenómenos es llamada evapotranspiración). Otra porción se convierte en escorrentía superficial que alimenta los ríos. Finalmente, una parte entra en el suelo como infiltración (escorrentía subterránea). Esta porción puede pasar, de nuevo, a los ríos o pasar a profundidades mayores como agua subterránea. Las aguas superficiales y subterráneas se mueven hacia zonas de más baja altitud y, eventualmente, descargan al mar desde donde una porción puede volver a la atmósfera. Según los cálculos de Lvovich (Antigüedad, 1998), en la superficie de la Tierra, cada año, caen 520 000 km³ de precipitación y la evapotranspiración es aproximadamente la misma cantidad.

Es importante resaltar que las emergencias de aguas subterráneas pueden originar manantiales fríos y calientes, dependiendo del origen geomorfológico y del efecto geotérmico. Las últimas son comúnmente conocidas como aguas termales (Custodio, 1983).

CLASIFICACIÓN DE AGUAS TERMALES

De acuerdo con su temperatura

Son aguas subterráneas que, en el punto donde emergen, poseen una temperatura mayor a la temperatura media anual. Sobre qué tanto mayor hay opiniones diferentes; se ha adoptado 5°C por encima de la media anual, siendo este criterio ampliamente utilizado

en las literaturas estadounidenses (White, 1957).

De acuerdo con su origen geológico

Aguas magmáticas: Surgen de una directa relación con filones metálicos o eruptivos. Sus temperaturas son elevadas, superiores a 50°C, con un caudal periódico, rítmico y constante, así como también es constante su temperatura y composición. En este tipo de aguas son comunes los elementos característicos de emanaciones metálicas.

Aguas telúricas: Denominadas también aguas de infiltración, pueden surgir de cualquier terreno. Su caudal es variable, según los regímenes de lluvia y estaciones del año. Las temperaturas, rara vez, llegan a los 50°C. El grado de mineralización es mediano a bajo y la concentración de minerales está en inversa proporción con su caudal. En las aguas telúricas, existen sales de cal y de magnesio, cloruros y bicarbonatos.

De acuerdo con su composición química

Atendiendo a su composición hidroquímica, un agua mineral natural puede ser: acidulada si su contenido en dióxido de carbono supera los 250 mg/l, alcalinasi predominan los iones de sodio, bicarbonatada sobre el total de iones, amarga si los iones predominantes son el sulfato, el sodio y el magnesio, ferruginosa si el contenido de hierro en su forma ionizada supera los 5 mg/l, fluorurada en caso de presencia de fluoruros en cantidades superiores a 2 mg/l; y lítica si el contenido en litio es superior a 1 mg/l.

Las sustancias disueltas en un agua pueden sumar de unos pocos miligramos por litro hasta más de 100 000 mg/l. Las aguas potables que tienen de 1000 mg/l hasta 5000 mg/l se denominan salobres, el agua del mar 35 000 mg/l. Un litro de agua puede llegar a contener más de 300 gramos de sales (salmuera). Más del 99% de estas sustancias disueltas en un agua natural (no contaminada) corresponde a las siguientes especies químicas: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SiO_2 , CO_2 y O_2 .

Principales constituyentes químicos

A pesar de la gran diversidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de sus

concentraciones, éstos han sido clasificados, y se pueden asignar como: constituyentes mayoritarios (tabla 1), constituyentes minoritarios (tabla 2) y componentes trazas. Los correspondientes a la tabla 1 aparecen siempre en concentraciones mayores a 1 mg/l. El NO_3^- , generalmente, se encuentra por debajo de este rango, pero cuando aparece por encima del mismo, así siempre se debe a contaminación orgánica.

Tabla 1. Componentes mayoritarios en las aguas subterráneas.

Aniones	Cationes	No iones
Cloruro (Cl^-)	Sodio (Na^+)	Dióxido de silicio (SiO_2)
Sulfato (SO_4^{2-})	Potasio (K^+)	Dióxido de carbono (CO_2)
Bicarbonato (HCO_3^-)	Magnesio (Mg^{2+})	Oxígeno disuelto (O_2)
	Calcio (Ca^{2+})	

El contenido de cada especie caracteriza el acuífero, ya que eso depende del tipo de suelo, rocas y gases disueltos, entre otros. Es posible clasificar el tipo de sal que se encuentra disuelta en el agua, conociendo el catión y el anión que está en mayor proporción.

Toda esta clasificación se puede juntar a la hora de hacer los análisis químicos respectivos, utilizando para ello una serie de diagramas. Tradicionalmente, se utilizan diagramas del tipo de Piper, Gibbs, Schoeller-Berkaloff y Stiff, cuyos fundamentos e interpretación son conocidos en hidrología. El más utilizado es el diagrama de Piper (figura 1), que separa los cationes y aniones mayoritarios en dos triángulos y un campo romboidal central para el conjunto de estos iones.

Este diagrama representa la composición química mayoritaria de muchas aguas sobre un único gráfico, facilitando la comparación y la clasificación de las aguas. Permite agrupar a las aguas por familias hidroquímicas y establecer relaciones genéticas; por ejemplo, si los puntos se alinean entre dos aguas extremas, se trataría de aguas de mezcla entre ambas. Las desviaciones de la recta de mezcla podrían obedecer a procesos

modificadores posteriores a la mezcla (Guzmán, 2003).

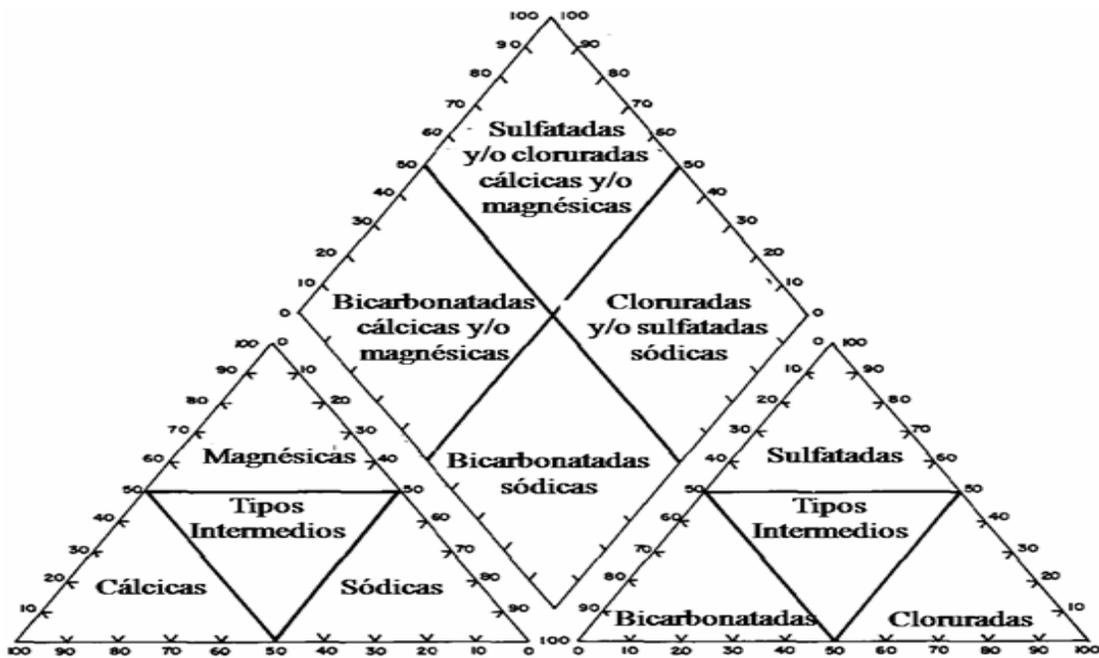


Figura 1. Diagrama de Piper.

En el diagrama de Gibbs o boomerang (figura 2) se representa la concentración de sólidos totales disueltos (STD) en función de la relación $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$.

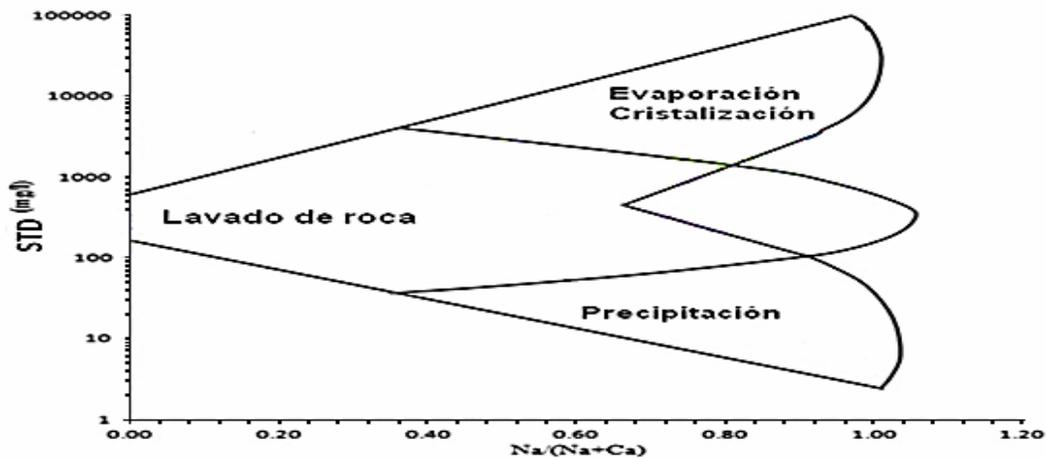


Figura 2. Diagrama de Gibbs.

Se caracteriza por poseer tres zonas asociadas a los procesos de evaporación, lavados de roca y precipitación, respectivamente. La composición de la lluvia mundial está determinada por el contenido de NaCl de origen marino y bajas concentraciones de sólidos disueltos, por lo que se encuentran en la esquina inferior derecha. El incremento de sales debido a la interacción agua-roca causado por intemperismo aumenta la proporción de sólidos disueltos afectando las concentraciones de calcio o bicarbonato relativas a sodio y cloruros. Finalmente, la evapotranspiración, como sucede en áreas de cultivo o superficies con suficiente aridez que reciben escurrimiento sub-superficial por aguas de retorno agrícola; elevan el contenido de Na^+ y de sólidos totales disueltos (STD).

Constituyentes minoritarios

Los componentes menores (1 a 0,1 mg/l en aguas subterráneas) más frecuentes son F^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , Sr^{2+} , Fe^{2+} . El resto (componentes trazas) suele estar en concentraciones inferiores a 0,1 mg/l (Doménico y Schwartz, 1998).

Tabla 2. Componentes minoritarios en las aguas subterráneas.

Aniones	Cationes
Nitrito (NO_2^-)	Amonio (NH_4^+)
Nitrato (NO_3^-)	Hierro (Fe^{2+})
Fosfato (PO_3^{2-})	Manganeso (Mn^{2+})
Fluoruro (F^-)	Zinc (Zn^{2+})

Los constituyentes trazas son: aluminio (Al), titanio (Ti), cobalto (Co), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr) y otros. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que, en condiciones particulares, un constituyente minoritario puede alcanzar rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce, estos constituyentes aparecen, por lo general, en forma iónica (sales casi totalmente disociadas). Con menor frecuencia, se presentan en forma molecular,

parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas (Custodio, 1983).

Composición isotópica

Los isótopos estables de algunos elementos son muy valiosos para interpretar algunos procesos geológicos y ambientales. El principio que es útil para estas interpretaciones es el del fraccionamiento de masas, fenómeno por el cual los distintos isótopos estables de un elemento se pueden separar unos de otros por una serie de procesos físico-químicos, térmicos o biogeoquímicos. Al medir las relaciones de abundancia de estos isótopos en las fases coexistentes se puede reconstruir la historia química del sistema (Mook, 2002).

Los isótopos de un elemento poseen el mismo número atómico (Z) pero difieren en el número de masa (A), debido a la variación de neutrones en el núcleo. De acuerdo con la química clásica, las características químicas de los isótopos, o mejor dicho, de las moléculas que contienen diferentes isótopos del mismo elemento (como $^{13}\text{CO}_2$ y el $^{12}\text{CO}_2$) son idénticas (Plata, 2002). El fenómeno que hace que estas diferencias se produzcan recibe el nombre de fraccionamiento isotópico (α), definido por:

$$\alpha = \frac{R_A}{R_B} ,$$

donde R_A y R_B , son las relaciones isotópicas (abundancia) y se definen mediante la expresión:

$$R = \frac{\text{Abundancia del isótopo en defecto}}{\text{Abundancia del isótopo en exceso}}$$

La relación lleva un superíndice delante del símbolo del valor R , el cual se refiere al isótopo e defecto que está siendo considerado. Por ejemplo:

$$^{13}\text{R}(\text{CO}_2) = \frac{\text{Abundancia } ^{13}\text{C}}{\text{Abundancia } ^{12}\text{C}} \text{ y } ^2\text{R}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{\text{Abundancia } ^2\text{H}}{\text{Abundancia } ^1\text{H}}$$

La relación isotópica de un material viene referida a una muestra estándar que sirve de referencia. Una forma en la que suelen expresarse las medidas isotópicas hechas a muestras de agua es mediante el uso de valores delta (δ), definidos como las relaciones relativas al estándar adoptado para representar la relación isotópica media del océano global (Mook, 2002).

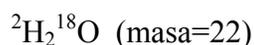
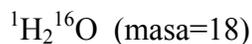
Los valores δ se pueden expresar en unidades de porcentaje (%), pero en la mayoría de los casos, los valores son muy pequeños y, por ello, es común representarlos en partes por mil (‰), y es igual a:

$$\delta^z R_{(y)} = {}^z R_{(y)} \times 1000\text{‰}$$

$$\delta_{mtr} = \frac{R \text{ muestra}}{R \text{ referencia}} - 1$$

Los isótopos estables que, en la naturaleza, presentan variaciones más destacadas en las abundancias isotópicas relativas son los de los siguientes elementos: H, C, O, N, Si y S. Por ejemplo, entre el ${}^1\text{H}$ y el ${}^2\text{H}$ (deuterio) hay mayor diferencia en su comportamiento que entre el ${}^{16}\text{O}$ y el ${}^{18}\text{O}$, ya que el isótopo pesado del hidrógeno ${}^2\text{H}$ es un 100% más pesado que el isótopo ligero ${}^1\text{H}$ (O'Neil, 1991).

Puesto que en la naturaleza hay 2 isótopos estables de hidrógeno: ${}^1\text{H}$ (99,9844%) y ${}^2\text{H}$ (0,0156%), y 3 isótopos estables de oxígeno: ${}^{16}\text{O}$ (99,763%), ${}^{17}\text{O}$ (0,0375%) y ${}^{18}\text{O}$ (0,1995%), pueden formarse seis moléculas de agua isotópicamente distintas; pero sólo $\text{H}_2{}^{16}\text{O}$, $\text{H}_2{}^{18}\text{O}$ y ${}^2\text{H}_2{}^{16}\text{O}$ se originan de forma natural en concentraciones cuantificables (Plata, 2002). Las masas de estas moléculas varían desde 18 hasta 22 y sus propiedades también varían considerablemente:



Como la frecuencia vibracional asociada con los enlaces de los isótopos ligeros es mayor que la de los enlaces de los isótopos pesados, las moléculas ligeras escapan más

fácilmente a la atmósfera que las pesadas. Por eso, el agua evaporada del océano (AEO) es más ligera (valores δ negativos) que el Estándar del Agua Media Oceánica (SMOW de sus siglas en inglés), (valor δ cero):

$$\delta^2\text{H}_{\text{AEO}} \approx -80\text{‰}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{AEO}} \approx -9\text{‰}$$

Aunque estos valores varían en función de la temperatura en cualquier lugar del mundo, el vapor de agua atmosférico tiene valores negativos respecto al SMOW.

La variación a valores más fuertemente negativos (o sea, a isotópicamente más ligeros) está influenciada por la latitud, por la distancia a la costa y por la altura. Considerando una nube cerca del Ecuador y siguiendo hacia el norte, a medida que evoluciona, se descarga parcialmente en forma de precipitaciones. El agua de la lluvia está enriquecida en isótopos pesados. Según evoluciona la nube, el agua de lluvia que cae va siendo más rica en isótopos ligeros (Plata, 2002).

El estándar internacional aceptado para las relaciones isotópicas del hidrógeno y del oxígeno es el Estándar del Agua Media Oceánica de Viena, de las siglas en inglés (V-SMOW). Las relaciones isotópicas absolutas $^2\text{H}/^1\text{H}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del V-SMOW son iguales a:

$$^2\text{H}/^1\text{H} = (155,95 \pm 0,08) \times 10^{-6} \text{ (De Wit } et al., 1980).$$

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = (2005,20 \pm 0,45) \times 10^{-6} \text{ (Baertschi, 1976)}.$$

Cuando el agua de la atmósfera se condensa en forma de lluvia o nieve ocurre el proceso inverso: se favorecen las moléculas de agua pesada en la lluvia o nieve. La primera lluvia que cae de una nube nueva, recién evaporada del océano tiene:

$$\delta^2\text{H}_{\text{AEO}} \approx -0\text{‰}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{AEO}} \approx 0\text{‰}$$

Una nube residual, de la que ya ha caído lluvia, tendrá cada vez valores más negativos, es decir cada vez será más rica en isótopos ligeros, según la ecuación:

$$R = R_0 f^{\alpha-1},$$

donde:

α = factor de fraccionamiento

f = fracción del vapor residual

R_0 = Relación inicial en el vapor

Cualquier muestra de agua de lluvia o cualquier muestra de un glaciar tienen composición isotópica, tales que se sitúan en la Recta de Precipitación o Recta de Agua Meteorológica (figura 2). Los valores $\delta^{18}\text{O}$ son próximos a cero para aguas meteóricas de islas oceánicas tropicales, mientras que en latitudes altas de zonas continentales se tienen valores $\delta^{18}\text{O}$ de entre -20 a -25 y valores $\delta^2\text{H}$ entre -150 a -250.

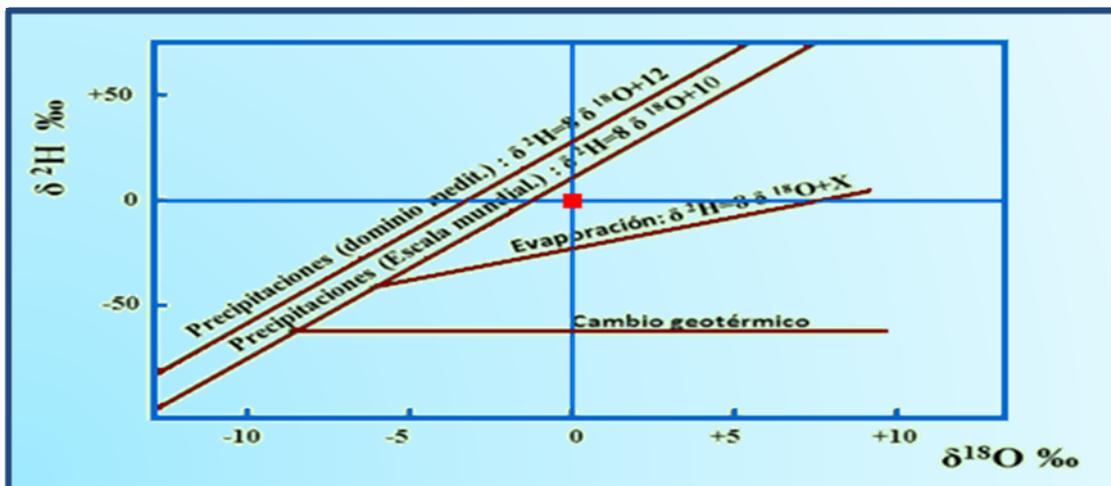


Figura 3. Relación oxígeno 18- deuterio en las precipitaciones (Craig, 1962).

El hecho de que exista esa linealidad indica que el fraccionamiento es un proceso en equilibrio y que el fraccionamiento de $^2\text{H}/^1\text{H}$ es proporcional al de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. La composición isotópica del agua del mar actual (SMOW) es muy uniforme, aun cuando hay pequeñas variaciones en algunas zonas debido a las diferencias de salinidad. Exceptuando casos extremos, se supone que la composición isotópica del agua oceánica se mantiene constante por intercambio con la corteza oceánica (Duque, 1998).

Los isótopos ambientales, tales como ^{18}O y ^2H , se utilizan principalmente para identificar el origen de los componentes del fluido geotérmico, la mezcla de aguas geotérmicas con otras aguas y los procesos que ocurren en profundidad que producen fraccionamiento isotópico, como, por ejemplo, las interacciones agua-roca y las pérdidas de vapor.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

El calor es una forma de energía y la energía geotérmica es el calor contenido en el interior de la Tierra que genera fenómenos geológicos a escala planetaria; el término energía geotérmica es, a menudo, utilizado para indicar aquella porción del calor de la Tierra que puede o podría ser recuperado y explotado por el hombre.

Antecedentes históricos

Las primeras mediciones mediante termómetros fueron probablemente realizadas en 1740, en una mina cerca de Belfort, en Francia (Bullard, 1965). Hacia 1870, se utilizaron métodos científicos modernos para estudiar el régimen termal de la Tierra, pero no fue hasta el siglo XX, y el descubrimiento del *calor radiogénico*, que se puede comprender plenamente tal fenómeno como un balance térmico y la historia térmica de la Tierra. Todos los modelos termales modernos de la Tierra deben, en efecto, tomar en cuenta el calor continuamente generado por el decaimiento de los isótopos radioactivos de larga vida del uranio (^{238}U , ^{235}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K), presentes en la Tierra (Lubimova, 1968).

La energía térmica de la Tierra es, por lo tanto, inmensa, pero sólo una fracción de ella podría ser utilizada por la humanidad. Hasta ahora, la utilización de esta energía ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas permiten un transporte (agua en la fase líquida o vapor), para transferir el calor desde zonas calientes profundas hasta o cerca de la superficie, dando, así, origen a los recursos geotérmicos. Sin embargo, en el futuro cercano, técnicas innovadoras podrían brindar nuevas perspectivas a este sector. En muchos casos, las aplicaciones prácticas preceden a la investigación

científica y a los desarrollos tecnológicos, y la energía geotérmica es un buen ejemplo de esto. A comienzos del siglo XIX, los fluidos geotermales fueron explotados por su contenido energético. En ese período, se instaló en Italia una industria química (en la zona actualmente conocida como Larderello), para extraer el ácido bórico de las aguas calientes boratadas que emergían naturalmente o bien, de pozos perforados con ese objetivo (Fridleifsson, 2005).

Además de electricidad, la energía geotérmica es utilizada en invernaderos, industrias, calefacción, sistemas de aire acondicionado, agricultura, balnearios terapéuticos, acuicultura, entre otros. En algunas partes se tienen desarrollos de proyectos a gran escala, tales como distritos de calefacción (Islandia y Francia), invernaderos (Hungría y Rusia) o uso industrial (Nueva Zelanda y Estados Unidos) (Lund, 2005).

La utilización de la energía geotérmica en países en vía de desarrollo muestra una interesante tendencia a través de los años. En los 5 años comprendidos entre 1975 y 1979, la capacidad geotermoelectrica instalada en tales países aumentó de 75 a 462 (MW/h); a fines del siguiente período de 5 años (1984) se habían alcanzado los 1 495 (MW/h), mostrando una tasa de incremento durante estos 2 períodos de 500% y 223%, respectivamente. En los siguientes 16 años, de 1984 al 2000, hubo un incremento de casi 150%.

El uso no eléctrico más común en el mundo (en términos de capacidad instalada) corresponde a bombas de calor (34,80%), seguido de baños (26,20%), calefacción (21,62%), invernaderos (8,22%), acuicultura (3,93%) y procesos industriales (3,13%) (Lund y Freeston, 2001).

Hoy en día, a nivel mundial, hay un gran interés en el campo de la geotermia, debido, fundamentalmente, a la necesidad de casi todos los países de buscar fuentes alternas de generación de energía eléctrica, a fin de reducir la dependencia del petróleo.

AGUAS TERMALES EN EL ESTADO SUCRE

En el estado Sucre, se han inventariado alrededor de 100 localidades con manifestaciones geotérmicas asociadas, las cuales se encuentran, mayoritariamente, alineadas a lo largo de la falla de El Pilar. Ésta constituye la principal zona geotérmica del país, tanto por la alta densidad de manifestaciones, como por su variedad, características y altas temperaturas. Es la única zona del país con fuentes termales hirvientes. Dispone de muchas fuentes termales en cantidad y variedad, apropiadas para establecer una red de establecimientos para fines médico-turísticos cerca de las zonas más pobladas. Con las características de los sistemas geotérmicos estudiados, las condiciones del país y la tecnología actual de generación de energía eléctrica a partir de fluidos geotérmicos, es la única zona con atractivo y posibilidades de resultar económicamente rentable (Urbani, 1983).

Entre Cariaco y Casanay, se encuentra la “tierra hueca”, debido a una separación interior de los estratos geológicos, y sobre el cual corren aguas calientes que desembocan en la pequeña Laguna de Campoma, al sur del Golfo de Cariaco. Uno de los riachuelos de estos lugares se llama Aguacaliente y contiene sulfuro de hidrógeno. El sistema de aguas calientes se encuentra situado al sureste de Cariaco. Todas las fuentes que brotan en este sitio desembocan en la Laguna de Campoma (Martínez, 1970). El sistema de fuentes de aguas termales a lo largo de la carretera con dirección a la población de Casanay. Estas fuentes han sido aprovechadas con fines, principalmente, turísticos y medicinales. En la zona, también, se desarrolla la actividad agrícola y ganadera, y existe un central azucarero, siendo estas las principales actividades de desarrollo de las localidades cercanas.

La mayoría de estas fuentes son utilizadas como balnearios para la recreación turística, como Aguas de Moisés, Los Cocoteros, El Castaño, Poza Cristal, Hacienda y El Manantial. El Canal de Riego es utilizado para la actividad agrícola y ganadera.

Debido al poco interés que se le ha dado a las aguas de la región de Cariaco y al gran

potencial geotérmico que posee, se hace necesario su estudio para su mejor aprovechamiento. La actividad turística e industrial en la zona se sirve de las fuentes de agua sin control alguno, esto es un peligro latente, que puede ocasionar mezclas y contaminación de los sistemas hídricos que son vitales para el desarrollo de la población. Los estudios hidroquímicos e isotópicos permitieron caracterizar estas aguas para orientar su uso, ya sea para agua potable, baños terapéuticos, turísticos y para la posible producción de energía eléctrica a través de la explotación del vapor de las aguas termales. Para ello se colectaron muestras en los balnearios, El Manantial, Hacienda, Poza Cristal, Aguas de Moisés, El Castaño, Cocoteros y el Canal de Riego. Se determinaron parámetros de temperatura, de acidez (pH), de conductividad y sólidos totales disueltos, para verificar el contenido mineral de las aguas, así como también componentes mayoritarios (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-}) y minoritarios (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{2+} , entre otros). Para tener una idea de la procedencia de las aguas, se midieron las relaciones isotópicas de los isótopos naturales estables ^{18}O y ^2H .

METODOLOGÍA

Área De Estudio

Las muestras de aguas se colectaron en la región de Cariaco en el estado sucre, Venezuela. A lo largo de la carretera nacional (Troncal 9) que va de Cariaco hasta Casanay, se encuentran una serie de acuíferos, donde se tomaron muestras de las siguientes fuentes:



Figura 4. Zona de muestreo.

Poza Cristal: Balneario que posee un manantial y varias piscinas de aguas termales, frente al Central Azucarero Rivero. Tiene habitaciones para el hospedaje.

El Castaño: Balneario con fuentes de agua sulfurosas utilizadas como recreación, además dicen poseer una fuente de agua que es envasada y puesta a la venta del público.

Aguas de Moisés: Complejo turístico, el más grande de la zona con extensos terrenos, donde se distribuye entre piscinas, fuentes, manantiales de aguas sulfurosas que son utilizadas para el disfrute del público.

Cocoteros: Centro turístico que cuenta con piscinas de aguas sulfurosas con temperaturas agradables. Cuenta con habitaciones para el hospedaje.

Hacienda: Terreno donde se poseen ganado y se hacen actividades agrícolas. Posee una piscina que recibe el agua de manantiales de aguas sulfurosas que emanan de la tierra características de la zona.

El Manantial: La población de Pantoño, posee dos piscinas que reciben agua de fuentes sulfurosas que emana por toda la zona. Además, en la entrada, está una casa que posee una piscina que es llenada por un pozo el cual también surte de agua a camiones cisternas para distribuirla a la comunidad. Todas las fuentes se muestran de forma más amplia en la figura B1 del apéndice B.

Adicionalmente a estos balnearios, se analizó el agua del Canal de Riego, el cual se llena con agua superficial del río Cariaco. De gran caudal, es utilizado para la siembra y la ganadería.

Toma De Muestras

Las muestras de aguas se tomaron de la superficie de las fuentes, en envases de plástico, curados previamente con la misma agua. Una vez colectadas las muestras, éstas se colocaron en una cava con hielo hasta su destino final en el laboratorio, para su posterior tratamiento y análisis. Estas muestras se colectaron en dos periodos secos: mayo 2007 y 2009, además, en dos periodos lluviosos, julio 2007 y octubre 2008.

Medición de los parámetros hidrográficos

Temperatura

Se determinó *in situ* utilizando un termómetro de mercurio de apreciación $\pm 1^{\circ}\text{C}$. También, se utilizó un conductímetro digital, marca HACH Sesión 5, este equipo tiene un dispositivo para medir temperatura con una apreciación de $\pm 0,1$.

Conductividad y sólidos totales disueltos (STD)

Se determinó *in situ* utilizando un conductímetro digital, marca HACH Sension 5.

Este equipo tiene un dispositivo para medir con una apreciación de $\pm 0,1$ tanto la conductividad como los sólidos totales disueltos.

pH

Se determinó *in situ* usando papel pH con una apreciación de $\pm 0,5$ unidades de pH y con un pH-metro portátil marca Hanna modelo HI83140 y luego se midió en el laboratorio con un pH-metro marca Hanna modelo HI251 con una apreciación de $\pm 0,01$.

Posición geográfica

Para la localización geográfica se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS, de las siglas en inglés) modelo Explorist 100, marca Magellan. En la tabla 3, se muestran las coordenadas geográficas de las fuentes donde se tomaron las muestras.

Tabla 3. Zonas de muestreo y sus respectivas coordenadas de la región de Cariaco

#	Lugar de Muestreo	Coordenadas geográficas
1	Poza Cristal	10°29'04"N 63°28'40"O
2	Canal de riego	10°28'53"N 63°32'37"O
3	Los Cocoteros	10°29'30"N 63°28'43"O
4	El Manantial Balneario	10°29'34"N 63°27'15"O
5	El Manantial casa	10°29'34"N 63°27'14"O
6	Aguas de Moisés (siembra)	10°29'54"N 63°27'14"O
7	Aguas de Moisés (duchas)	10°30'02"N 63°28'07"O
8	Aguas de Moisés (Entrada)	10°29'54"N 63°28'22"O
9	Hacienda	10°29'08"N 63°28'35"O
10	El Castaño	10°29'35"N 63°28'53"O

Análisis químico

Determinación de Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} y Ca^{2+}

Todos los análisis hidroquímicos se hicieron por triplicado.

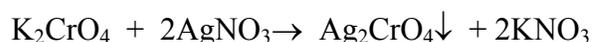
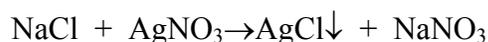
Para realizar el análisis de los metales Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} y Ca^{2+} , se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica, marca Perkin Elmer, modelo 3100, a longitudes de onda de 213,9; 283,3; 248,3; 279,5; 285, 228,8; 232, 324,7 y 422,7 nm, respectivamente. Se elaboraron patrones a distintas concentraciones de cada uno de los metales a analizar, con los cuales se trazaron curvas de calibración a las longitudes de onda correspondientes de cada metal. Al mismo tiempo, se determinaron las concentraciones de estos metales en cada una de las muestras de agua colectadas en la región.

Determinación de K^+ y Na^+ mediante el método de emisión atómica

Se realizó con el mismo espectrofotómetro de absorción atómica, pero transformado en emisión de llama y se procedió de la misma manera que en el método de absorción atómica, pero en emisión.

Determinación de Cl^- mediante el método de Mohr

Para analizar los cloruros, la muestra, a un pH neutro o ligeramente alcalino, se tituló con nitrato de plata ($AgNO_3$), usando como indicador cromato de potasio (K_2CrO_4). El cloruro de plata ($AgCl$) precipita cuantitativamente primero y, al terminarse los cloruros, el $AgNO_3$ reacciona con el K_2CrO_4 formando un precipitado rojo ladrillo de Ag_2CrO_4 , indicando el punto final de la titulación.



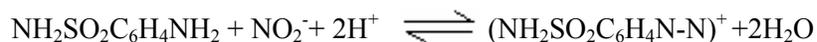
Se tomaron 10 ml del agua a analizar, se le agregó 1 ml de K_2CrO_4 0,1 mol/l y se completó con agua hasta 100 ml. Luego, se tituló con una solución de $AgNO_3$ 0,03 mol/l, hasta observarse un cambio de color con un precipitado rojo ladrillo, el cual es el punto final de la titulación

Determinación de NO₂⁻

Se procedió según el método descrito por Bendschneider y Robinson (1952) detallado por Strickland y Parsons (1972).

Principio del método

Los iones nitrito presentes en las muestras de agua forman un diazóico con la sulfanilamina en medio ácido (pH < 2) según la reacción:



Luego el compuesto diazóico reacciona con N-naftil-etilendiamina para formar un colorante rosado, el cual tiene un máximo de absorción a 543 nm. La reacción es la siguiente:

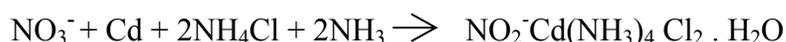


Las mediciones de las concentraciones de nitrito se realizaron utilizando un espectrofotómetro ThermoSpectronic, modelo GenesisTM8 a una longitud de onda de 543 nm

Determinación de NO₃⁻

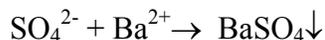
El nitrato se determinó mediante un sistema autoanalizador según el método descrito por Treguer y Le Corre (1975). La técnica mide en realidad la suma de las concentraciones de los iones NO₂⁻ y NO₃⁻. Por sustracción de la concentración de nitrito se obtiene la concentración de nitrato. La reducción de los iones nitrato a nitrito se efectúa por el paso de la muestra a través de una columna que contiene cadmio granulado tratado con cobre (Wood *et al.*, 1967). Las mediciones de las concentraciones de nitrato se realizaron a una longitud de onda de 543 nm utilizando un autoanalizador Technicon II.

La reacción es la siguiente:



Determinación de sulfato por fotocolorimetría

El ión sulfato precipita en un medio de ácido clorhídrico con cloruro de bario, de modo que forma cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de BaSO₄ con un espectrofotocolorímetro a 420 nm, y se determina la concentración de SO₄²⁻ por comparación con la lectura con una curva de calibración.

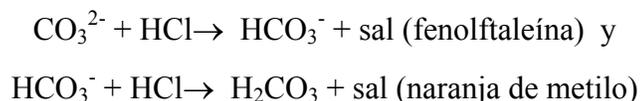


Se tomaron 5 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo, se agregaron 8 ml de agua destilada, 1 ml de HCl 6 mol/l, se agitó y se añadió 0,5 g de cristales de BaCl₂·H₂O. Se dejó reposar por 1 min, luego, se agitó hasta que los cristales se disolvieron completamente, se dejó reposar por 10 min. Una vez transcurrido este tiempo, se transfirió parte de la suspensión a la celda del fotocolorímetro y se leyó la absorbancia, a una longitud de onda de 420 nm en un spectronic 20 marca Genesys. Se preparó un blanco de la misma forma, pero con agua destilada.

Obtención de la curva de calibración: Con los estándares de; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 y 5,0 mg/l de sulfato, se siguió el mismo procedimiento utilizado para las muestras. Al graficar la absorbancia vs la concentración sulfato, se determinó la concentración de sulfato en las muestras de agua analizada.

Determinación de carbonato y bicarbonato por titulación

Por este método, se determinó la concentración de CO₃²⁻ y HCO₃⁻ por titulación de la muestra con una solución valorada de un ácido fuerte como el HCl, mediante dos puntos sucesivos de equivalencia, indicados por medio del cambio de color de dos indicadores adecuados, como fenolftaleína y naranja de metilo, respectivamente.



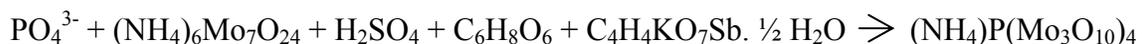
Cuando se le agrega a la muestra de agua fenolftaleína y aparece un color rosa, se está en presencia de un pH mayor que 8,3 y carbonatos. Se procede a titular con HCl previamente estandarizado, hasta que el color rosa vire a incoloro, con esto, se titula la

mitad del CO_3^{2-} . Enseguida, se agregan unas gotas de indicador de naranja de metilo, apareciendo una coloración amarilla y se continúa titulando con HCl hasta la aparición de una coloración naranja o amarillo rojizo. Con esto, se titula los bicarbonatos (HCO_3^-) y la mitad restante de los carbonatos (CO_3^{2-}). Si las muestras de agua tienen un pH menor que 8,3, la titulación se lleva a cabo en una sola etapa. Se agregan unas gotas de naranja de metilo, apareciendo una coloración amarilla y se procede a titular con solución de HCl hasta la aparición de un color naranja o amarillo rojizo con eso se titula los HCO_3^- .

En un erlenmeyer de 50 ml, se pipetearon 20 ml del agua a analizar, se adicionaron 2 gotas de solución de fenolftaleína (no se produjo el color rosado). Luego, se añadieron 3 gotas de naranja de metilo al 0,1% y se tituló con HCl 0,02 mol/l hasta el viraje del indicador, de amarillo a naranja (segunda titulación).

Determinación de fosfato (PO_4^{3-})

En la determinación de la concentración de fosfato, se utilizó el método de Murphy y Riley (1962). Los iones fosfato reaccionan con el molibdato de amonio, en presencia de antimonio (III), para formar un complejo que es reducido posteriormente por el ácido ascórbico. Esta forma reducida de fósforo presenta una coloración azul y tiene un máximo de absorción a 885 nm. Los resultados se expresaron en $\mu\text{mol/l}$.



Determinación de sílice

La concentración de silicato se analizó por el método de Treguer y Le Corre (1975), bajo los fundamentos de Murphy y Riley (1962) y la optimización de Strickland y Parson (1972). Este método se basa en la formación de un complejo silicomolibdico que, después de ser reducido con una solución de metolsulfito, ácido oxálico y ácido sulfúrico, da una coloración azul intensa. Las mediciones de las concentraciones de silicato se realizaron utilizando un autoanalizador Technicon II.

Para las curvas de calibración de todos los nutrientes se utilizaron estándares y agua de dilución certificada de 35 unidades de salinidad marca OceanScientific International.

Los cálculos de todos los elementos nutritivos se obtuvieron por interpolación, utilizando las curvas de calibración elaboradas para cada parámetro. El valor de absorbancia corregido de la muestra (Abs.medida-Abs.blanco) fue multiplicado por el valor de la pendiente de la curva de calibración y los resultados expresados en $\mu\text{mol/l}$.

Determinación de los isótopos estables deuterio (^2H) y oxígeno-18 (^{18}O)

Se determinó utilizando un espectrómetro laser modelo DLT-100, y el procedimiento se basa en colocar 1,5 ml de muestra (que no presente precipitado o residuo sólido) en un vial, donde un sistema automático extrae 10 μl y lo inyecta al espectrómetro. La base del inyector se calienta a 70°C , de tal forma que envía el vapor de agua a la cavidad donde es irradiada por un láser a temperatura ambiente. El espectro de absorción medido se registra y combina con datos de temperatura del gas, presión en la cavidad, longitud de paso óptimo para proporcionar una medida cuantitativa de los isótopos estables en la muestra de agua.

El espectrómetro láser se calibra automáticamente con los estándares del V-SMOW, proporcionados por la Organización Internacional de Energía Atómica en Viena. Las medidas fueron tomadas en el laboratorio de aguas y suelos del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) de la Universidad de los Andes, estado Merida, Venezuela.

Análisis estadísticos

Para la parte estadística se empleó el programa Statgraphics Plus versión 5.1. El método utilizado fue el análisis de varianza simple, luego de realizar la prueba ANOVA, se aplicó un procedimiento de comparación múltiple de rango propuesto por Duncan a un nivel de confianza de un 95%, para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Las comparaciones se realizaron con respecto a las estaciones,

la media aritmética se calculó en cuanto a periodos (lluvia y sequia) y la variación entre periodos se deduce del rango de variabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados del análisis realizado a las fuentes de aguas termales de la región Cariaco, Municipio Ribero, del estado Sucre. Éstos se obtuvieron entre 2007 y 2009, durante periodos secos y lluviosos. Se hizo comparación de los parámetros fisicoquímicos temperatura (T), conductividad (C), potencial de hidrogeno (pH) y sólidos totales disueltos (STD) para los dos periodos. También, se determinó aniones mayoritarios (Cl^- , SO_4^{2-} y HCO_3^-), cationes mayoritarios (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) metales trazas (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}), nutrimentos (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}), sílice (SiO_2) y, por último, se realizó un análisis isotópico, determinando la relación $^2\text{H}/^1\text{H}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en la zona. La estación 2 no fue tomada en cuenta para el análisis estadístico, debido a que posee características muy diferentes de las otras estudiadas, lo que ocasionaría interpretaciones erróneas del comportamiento de estas aguas en la región.

Parámetros Fisicoquímicos

Luego de realizar los estudios a las muestras, los parámetros físico-químicos medidos en la zona arrojaron los resultados que se muestran en la tabla 4.

Temperatura

La temperatura en los acuíferos está influenciada por la latitud, altitud, variaciones climáticas, hora del día, circulación del aire, nubosidad, profundidad del cuerpo de agua. Cuando la temperatura del agua se incrementa, la tasa de reacciones químicas se incrementa, conjuntamente con la evaporación y volatilización de sustancias. Además, disminuye la solubilidad de los gases en el agua como O_2 , CO_2 y N_2 .

Las temperaturas de los diferentes acuíferos durante la época seca fluctuó entre $27,7^\circ\text{C}$ en Canal de Riego (2) y $33,6^\circ\text{C}$ en Cocoterros (3), con una media de la zona de $31,4^\circ\text{C}$. Durante la época de lluvia, las fuentes presentaron una ligera variación entre $26,3^\circ\text{C}$ en El Manantial balneario (4) y $32,4^\circ\text{C}$ en Poza Cristal (1) con una media de la zona de

30,4°C. Se observó una disminución de la temperatura en época de lluvia, debido al enfriamiento que ésta produce en las aguas de la zona. Las fuentes donde más se evidenció la disminución de la temperatura fueron en Canal de Riego (2) y El Manantial balneario (4). Sin embargo, en Poza Cristal (1), Aguas de Moisés entrada (8), Hacienda (9) y El Castaño (10), la temperatura se mantuvo prácticamente igual o tuvo un ligero aumento, indicando que son aguas subterráneas con un caudal grande por lo que no son alteradas por las precipitaciones de la región.

Tabla 4. Valores de los parámetros físico-químicos medidos *in situ* en las fuentes de aguas termales (temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad (C) y sólidos totales disueltos (STD)).

Sequía								
Estaciones	T (°C)		C(µS/cm)		pH		STD(mg/l)	
	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09
1	32,5	31,9	1361	1105	6,3	6,5	529,0	420,0
2	30,3	27,7	330	286	6,3	7,2	135,6	120,0
3	33,6	31,7	1358	1104	6,4	6,8	519,0	414,0
4	-	30,7	-	1272	-	6,9	-	560,0
4b	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	29,3	-	1333	-	6,8	-	580,0
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	31,4	-	1094	-	7,0	-	410,0
9	-	32,2	-	1098	-	6,6	-	412,0
10	-	29,5	-	1124	-	6,8	-	461,0
*Promedio de la zona	31,4		1205		6,7		478,3	
*Desviación	1,7		384		0,3		154,7	

Continuación del Cuadro N° 4

Lluvia								
Estaciones	T (°C)		C(μS/cm)		pH		STD(mg/l)	
	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08
1	32,4	32,1	1355	1337	6,4	6,8	525,0	526,5
2	26,5	28,5	304	303	6,3	7,2	128,0	130,5
3	28,3	31,4	534	1328	6,9	7,0	523,0	374,0
4	26,3	30,5	1228	1481	6,8	7,0	599,0	569,5
4b	-	-	-	-	-	-	-	-
5	29,3	-	1507	-	6,8	-	-	630,0
6	30,3	-	887	-	7,3	-	-	361,0
7	29,3	-	1228	-	7,0	-	-	507,0
8	29,7	32,0	1193	1323	6,9	6,7	520,0	505,0
9	32,3	32,3	1337	1329	6,6	6,8	519,0	521,0
10	29,7	30,0	1053	1320	6,8	6,9	538,0	485,0
*Promedio de la zona	30,4		1229		6,8		513,5	
*Desviación	1,9		379		0,2		152,1	

(-) no se tienen registros. * Sin tomar estación 2.

A los valores reportados en la tabla 4, se les realizaron estudios estadísticos donde se comparó la temperatura en los dos periodos, donde el rango de variabilidad entre medias muestra que no hay diferencias significativas entre el periodo seco y el periodo de lluvia en las fuentes estudiadas, lo que indica que puede considerarse que en los acuíferos existe una zona estable, de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. Esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

La tabla de contraste múltiple de rango de Duncan para temperaturas según estaciones (tabla A2 en apéndice A) muestra dos grupos homogéneos con diferencias significativas entre ellos, un grupo conformado por las estaciones 3, 4, 5, 8 y 10 con las temperaturas más bajas y con temperaturas más altas están 1, 3, 8, 9 y 10. Se puede observar que las estaciones 4 y 5 presentan diferencias significativas con las estaciones 1 y 9. Esto se debe

a que las primeras son aguas subterráneas con características de aguas superficiales, la cual posee un recorrido que suele disminuir su temperatura, mientras que las segundas son aguas principalmente subterráneas y sus muestras fueron tomadas en su punto de emergencia, permitiendo así medir aproximadamente su temperatura real. Con estos valores de temperatura, las estaciones se van ubicando en el tipo que las caracteriza, ya sea en aguas superficiales, intermedias o subterráneas. El Canal de Riego (2) por poseer aguas superficiales y, por tanto, temperaturas más bajas, se estudió por separado para no afectar el análisis estadístico.

Estos acuíferos contienen aguas de tipo hipotermales que son utilizadas para la recreación de los turistas y para el riego en el sector agrícola de la región Cariaco. Taico (2005) reportó una temperatura de 32°C para Poza Cristal, lo que demuestra que es característica de esta estación. Estas temperaturas son bastante bajas comparadas con las reportadas por Aranda (2007) quien reportó para la hacienda Aguasana temperaturas hasta de 60,2°C, mientras que Benítez (2007) y Vallejo (2010) reportaron para El Pilar temperaturas de hasta 95°C. En la figura 6 se observa el comportamiento de la temperatura en los periodos estudiados.

Conductividad

Las aguas de los diferentes acuíferos naturales de la zona de Cariaco presentan una conductividad característica de aguas subterráneas, observándose que en el periodo seco varió entre 286 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Canal de Riego (2) a 1361 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Poza Cristal (1) con una media de la zona de 1205 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Durante la época de lluvia varió de 303 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Canal de Riego (2) a 1507 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en El Manantial Casa (5) con una media de la zona de 1229 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, se observa que son aguas con considerable mineralización, que a pesar de que pueden ser afectadas por la lluvia, la cual pudiera aportar gran cantidad de minerales, la conductividad no cambió significativamente en este periodo. Esta mineralización es aprovechada con fines turísticos-terapéuticos por las personas que visitan y disfrutan de los diferentes balnearios de la región.

En este mismo orden de ideas, se puede decir que, tanto para el periodo seco como para el lluvioso, el estudio estadístico arrojó que no existen diferencias significativas entre las conductividades de las estaciones, por tanto, se comportan de igual forma en los dos periodos estudiados, donde el mayor aporte de minerales se produce por efecto del lavado de los terrenos de la zona. Esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Entre estaciones no hay diferencias significativas. El Canal de Riego (2) se diferencia de las demás, debido a su característica de agua superficial, posee temperaturas más bajas y, por tanto, conductividades menores que trae como consecuencia baja mineralización de sus aguas.

En las aguas termales, la conductividad eléctrica es mayor que en las aguas frías, debido al aporte de sales, principalmente, a una mayor presencia del ion cloruro, que es mejor conductor eléctrico que otros aniones (Cabrera, 2002), sin embargo, esto sucedió sólo en Canal de Riego (2) y Cocoteros (3) donde sus conductividades disminuyeron ligeramente cuando sus temperaturas fueron más bajas. Las otras estaciones aumentaron o se mantuvieron a pesar de presentar enfriamiento en sus aguas.

Benítez (2007) reportó para El Pilar conductividades de hasta 12800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Aranda (2007) reportó para Aguasana valores hasta 14460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Vallejo (2010), para La Ceiba reportó hasta 10460 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores son bastante altos comparados con los obtenidos para la región de Cariaco donde se evidencia la baja mineralización de sus aguas.

Los valores de conductividad, durante las dos épocas, en las aguas de las diferentes pozas, indican que existe cierta relación con el incremento y el descenso de la temperatura, pero también influenciada por los minerales que aporta el lavado de los suelos por efectos de las precipitaciones en la zona, como se puede observar en la figura 5.

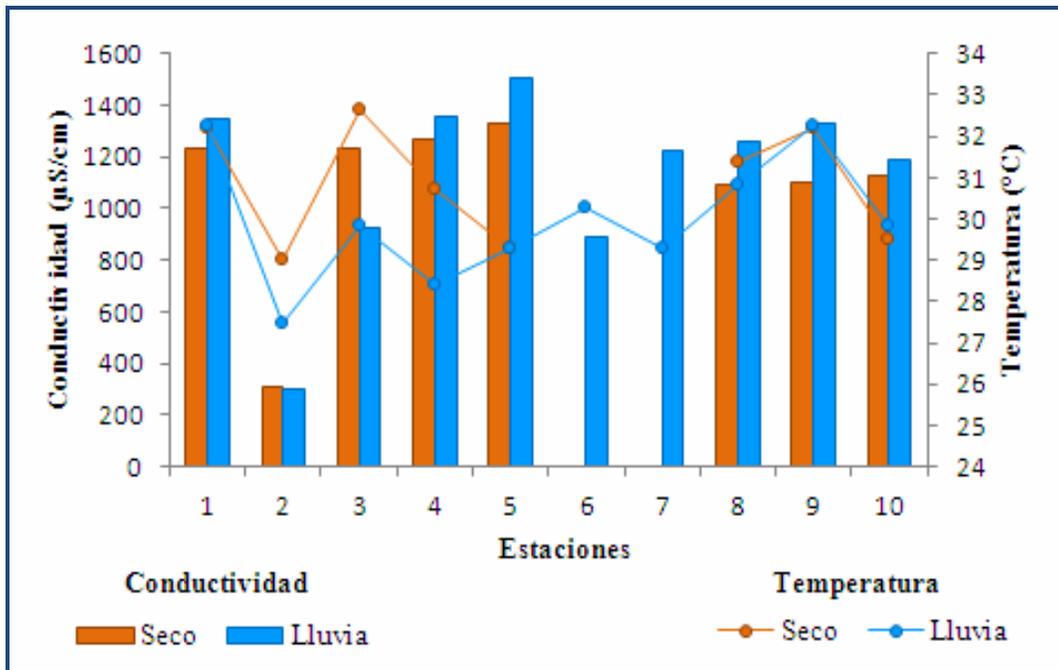


Figura 5. Variación de la conductividad y de la temperatura.

Sólidos Totales Disueltos (STD)

Se define como la cantidad de sustancias coloidales y de sales minerales presentes en una muestra de agua, es decir, son los materiales disueltos en aguas limpias y aguas residuales.

En el estudio, se observó que, para el periodo seco, los datos obtenidos fluctuaron entre 120,0 mg/l en Canal de Riego (2) a 580,0 mg/l en El Manantial Casa (5) con una media para la zona de 478,3 mg/l. En la época de lluvia, varió entre 128,0 mg/l en Canal de Riego (2) y 630,0 mg/l en El Manantial Casa (5) con una media para la zona de 513,5 mg/l. Estas aguas poseen valores considerables de STD y muestra que la lluvia, a pesar de ser un factor determinante en el aporte de iones a sus fuentes, lo que confirma su estrecha relación con la conductividad, no altera significativamente la cantidad de STD. Esta característica es aprovechada por las diferentes actividades económicas que se desarrollan en la región, donde las que más se destacan son la agricultura y la actividad turístico-terapéutica.

De acuerdo con los estudios estadísticos realizados, se tiene que no hay diferencia estadística significativa para STD en los dos periodos estudiados. Por tanto, la concentración de los sólidos totales disueltos en los acuíferos de la región de Cariaco es similar tanto en periodo seco como en periodo de lluvia. Esto se muestra en la tabla A1.

El estudio de contraste múltiple de rango de Duncan para STD según estaciones (tabla A3 en apéndice A), muestra dos grupos homogéneos que presentan diferencias estadísticamente significativas. Estos dos grupos son las estaciones 1, 3, 4, 8, 9 y 10; y el otro 1, 4, 5, 8, 9, y 10 donde las estaciones presentan características tanto de aguas subterráneas como superficiales. La estación 3 posee el menor aporte de STD, ya que son aguas intermedias, mientras que la estación 5 tiene el mayor aporte, porque son aguas subterráneas. Con STD más bajos, se encuentra el Canal de Riego (2), que presenta característica de aguas superficiales, de allí su baja mineralización.

Aranda (2007) reportó para Aguasana en Tunapuy municipio Libertador, estado Sucre, Venezuela, valores hasta 4540 mg/l, Benítez (2007), para El Pilar hasta 3760 mg/l, mientras que Vallejo (2010), para La Ceiba, hasta 3870 mg/l. evidenciando la alta mineralización de estas aguas con respecto a la región de Cariaco.

pH

El pH es una variable importante en la calidad del agua que está influenciado por los procesos biológicos y químicos dentro del cuerpo de agua y todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento de las mismas. En aguas no contaminadas, este parámetro está controlado por el balance entre dióxido de carbono, carbonatos y bicarbonatos, iones que siempre están presentes en las aguas naturales. Las variaciones de pH pueden ser causadas por las aguas subterráneas y lagos salados.

El pH de las aguas de la región Cariaco se caracterizó por ser neutro, en su mayoría, en los periodos en estudio. Durante la época seca, el pH varió de 6,3 en Poza Cristal (1) a 7,2 en Canal de Riego (2) con una media de la zona de 6,7. Durante la época de lluvia

varió en 6,3 en Canal de Riego (2) a 7,3 en Aguas de Moisés siembra (6) con un promedio de la zona de 6,8. El estudio estadístico arrojó que no hay diferencias estadísticas significativas entre las medias de los pH estudiados en los dos periodos. Por tanto, el pH se mantiene con tendencia neutra en lluvia y en época seca, como se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Los valores de pH entre 6,5 y 7,5 pueden estar influenciados por la presencia de carbonatos, fosfatos y de iones similares que dan al agua un poder amortiguador y, entonces, la adición al agua de un ácido o de una base en tales condiciones no causa mayor efecto en el pH.

La tabla de contraste múltiple de rango de Duncan para conductividades, según las estaciones (tabla A4 en apéndice A), muestra que no hay diferencias estadísticas significativas para el pH entre las estaciones. En la figura 6, se muestra la variación del pH en los dos periodos estudiados. Todas las estaciones muestran características con tendencia a la neutralidad, el cual es ideal para el uso humano ya sea para uso personal, agricultura o de recreación.

Taico (2005) reportó un pH para Poza Cristal de 6,60; Aranda (2007) para Aguasana de 5,0 a 7,5 y Benítez (2007) para El Pilar de 6,5 a 7,5. Vallejo (2010) reportó para La Ceiba, Buena Esperanza y Volcán de Humboldt valores de 2,0 a 6,3. Este estudio arrojó valores parecidos a los de El Pilar a pesar de las notables diferencias entre las dos zonas.

En la figura 6, se muestra la variación del pH de las estaciones estudiadas en los periodos tanto seco como de lluvia.

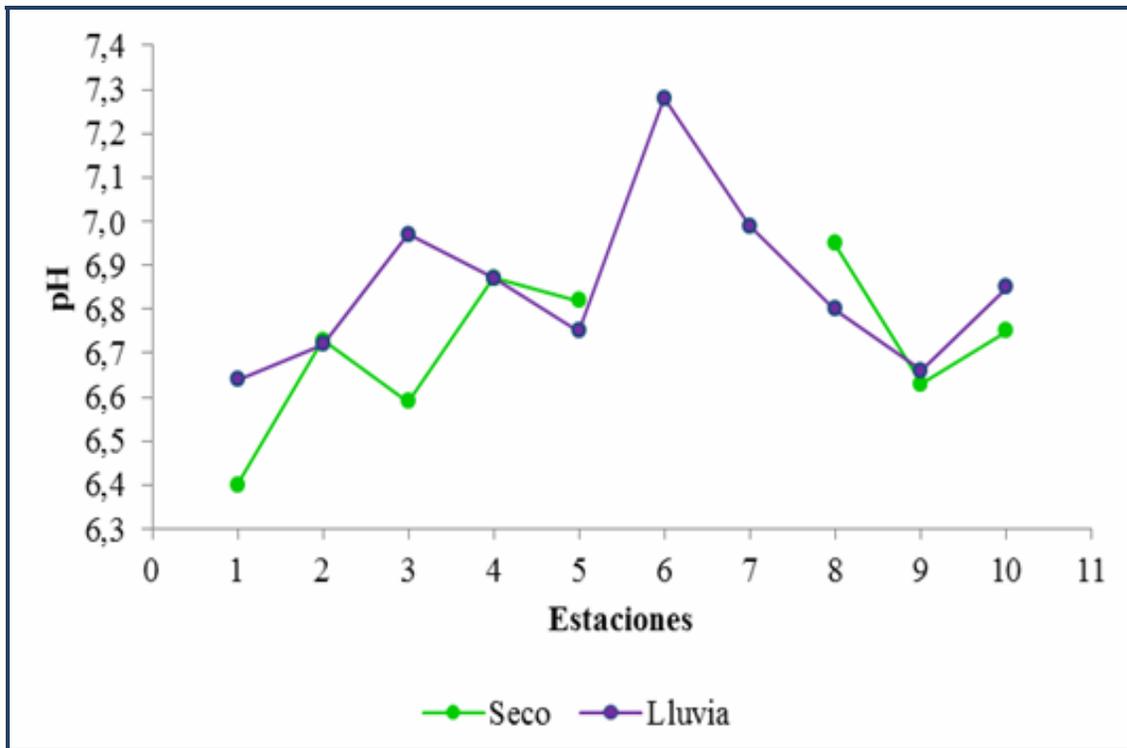


Figura 6. Variación del pH.

Luego del estudio de los parámetros fisicoquímicos, se pudo observar que la estación Canal de Riego (2) presenta características de aguas superficiales, la cual recibe su recarga por medio de la lluvia, pues estas aguas pertenecen al río Cariaco o Carinicuaoque nace en la vertiente norte del Cerro Negro en el Macizo Oriental. Por tanto, la estación (2) aparentemente no tiene conexión con las otras fuentes estudiadas que son aguas con características subterráneas o con propiedades intermedias la cual presentan valores de temperatura, conductividad, STD y pH que permiten confirmar dichas características. Estas aguas, debido a la proximidad con la laguna de Buena Vista, desembocan posiblemente en la misma y se ven afectadas por las fallas tectónicas que presenta la zona, la cual posee actividad sísmica que predomina en la región y sus alrededores. Este sistema de agua en la región sólo es aprovechado por la actividad agrícola y los complejos turísticos que hacen vida en la zona, la mayoría sin ningún control, donde se encuentra hasta una embotelladora de agua potable, la cual se desconoce su fuente de recolección y si posee el permiso sanitario correspondiente. No

se visualiza ningún proyecto para aprovechar estas aguas termales como fuentes de energía geotérmica.

Aniones Mayoritarios (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-})

Se hicieron estudios de las especies aniónicas, para determinar la composición de las sustancias disociadas que están en mayor proporción. Los resultados de los análisis de los aniones mayoritarios se encuentran en la tabla 5, donde se muestran las concentraciones de cada uno de éstos con sus respectivos errores. El estudio fue realizado tanto en el periodo seco como el de lluvia. Se observa que el bicarbonato presenta mayor proporción, respecto a los otros aniones dando la característica de aguas bicarbonatadas a la región, le siguen los cloruros y, por último, los sulfatos, permaneciendo esta tendencia para los dos periodos estudiados.

Bicarbonatos

El contenido de bicarbonatos en el período seco fluctuaron entre 190 mg/l en el Canal de Riego (2) y 644 en El Castaño (10) con un promedio de la zona de 594 mg/l. En el período lluvioso varió de 135 mg/l en El Canal de Riego (2) a 594 mg/l en El Manantial casa (5) con un promedio de la zona de 433 mg/l.

Tabla 5. Concentraciones de las especies aniónicas mayoritarias (expresadas en mg/l, con su respectivo error) de las aguas Cariaco.

Seco						
Estaciones	HCO₃⁻ (mg/l)		Cl⁻(mg/l)		SO₄²⁻(mg/l)	
	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09
1	545±13	595±6	142±32	117±10	16,16±0,01	18,21±0,12
2	190±8	207±7	25±14	17±5	14,54±0,01	3,64±0,02
3	550±13	598±6	132±31	115±10	16,81±0,01	6,29±0,04
4	-	612±6	-	159±12	-	19,20±0,12
5	-	600±6	-	179±13	-	26,48±0,16
8	-	612±6	-	117±10	-	12,25±0,08
9	-	586±6	-	114±10	-	15,56±0,11
10	-	644±6	-	114±10	-	3,64±0,02
*Promedio de la zona	594±8		132±15		14,95±0,074	
*Desviación	29		22		6,47	
Lluvia						
Estaciones	HCO₃⁻ (mg/l)		Cl⁻(mg/l)		SO₄²⁻(mg/l)	
	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08
1	572±91	415±27	142±16	126±14	22,15±0,022	15,0±0,9
2	197±39	135 ±15	42 ± 12	31±11	39,14±0,032	15±1
3	210±42	409±27	85±13	129±14	55,54±0,041	17,0±1,5
4	290±53	412±27	234±16	170±15	57,03±0,041	21,0±2,7
5	594±94	-	194±16	-	24,24±0,024	-
8	45,7±19	409±27	159±16	132±14	25,43±0,024	19,3±2,2
9	58,9±11	409±27	149±16	129±14	22,45±0,021	42±8
10	427±53	436±28	141±16	126±14	55,54±0,041	16,6±1,4
*Promedio de la zona	433±61		147±15		30,2±1,3	
*Desviación	105		35		16	

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

De acuerdo con los estudios estadísticos realizados para los dos periodos, las medias arrojaron que hay diferencias significativas para el bicarbonato en los dos periodos

estudiados. Se puede observar que los valores de bicarbonato disminuyeron ligeramente en periodo de lluvia debido, posiblemente, al efecto por dilución de las precipitaciones, por tanto, se puede decir que este ion es aportado por la interacción agua-roca de la región. Esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Entre estaciones no hay diferencias significativas de las muestras estudiadas. Las aguas subterráneas tienen más interacción con el sistema de rocas de la zona, por tanto, hay más aporte de este anión a las aguas. Se diferencia el Canal de Riego (2) con características de agua superficial y que recorre una superficie que no aporta concentraciones de este componente que puedan alterar la cantidad de bicarbonatos de sus aguas.

Los valores de bicarbonatos reportados para esta zona son menores de 1000 mg/l, al igual que los reportados por Benítez (2007), para El Pilar, con valores hasta 933 mg/l; Aranda (2007), para Aguasana, con valores hasta 996 mg/l y Vallejo (2010), para La Ceiba, hasta 337,8 mg/l.

Cloruros

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente, siendo en las aguas de mar, el nivel de cloruros muy alto, con un promedio de 19 000 mg/l. En aguas superficiales dulces, sin embargo, su contenido es, generalmente, menor que el de los bicarbonatos y sulfatos. Las aguas subterráneas en áreas adyacentes al océano están en equilibrio hidrostático con el agua de mar. Un sobre bombeo de las aguas subterráneas produce una diferencia hidrostática a favor del agua de mar haciendo que ésta se introduzca en al área de agua dulce (Romero, 1999).

Según Davis y De Wiest (1971), la invasión de agua salada, o intrusión, es el movimiento de entrada del agua del mar en los acuíferos costeros, libres o cautivos, y el desplazamiento subsiguiente del agua dulce de dichos acuíferos. El estudio de la intrusión marina, la cual puede alcanzar unos miles de metros tierra adentro, es de

incuestionable interés para los abastecimientos de agua subterránea en islas y regiones costeras, en las que los pozos pueden llegar a contaminarse por agua salada.

El contenido de cloruros en el periodo seco varió, de 17 mg/l en Canal de Riego (2) a 179 mg/l en El Manantial casa (5) con un promedio de la zona de 132 mg/l. Durante la época de lluvia varió de 31 mg/l en El Canal de Riego (2) y 234 mg/l en El Manantial balneario (4) con un promedio de la zona de 147 mg/l. Las medias arrojadas por el análisis estadístico realizado muestran que no hay diferencia estadísticamente significativa del ion cloruro para los dos periodos estudiados. Esto se muestra en la tabla A1.

Debido a las bajas concentraciones de cloruro, se puede decir que estas pozas no sufren de intrusión marina. Posiblemente, quien aporta estos iones es la lluvia. Comparando, los contenidos de cloruros en las aguas termales durante las épocas seca y lluviosa no sobrepasan los límites de las normas para agua potable del MARN (250 mg/l – 300 mg/l) y de OMS (500 mg/l).

La tabla de contraste de rango múltiple de Duncan para el cloruro según estaciones, (tabla A5 en apéndice A), muestra dos grupos homogéneos. Un grupo, 1, 3, 8, 9 y 10 con características combinadas de aguas superficiales y subterráneas. Por último, se tiene a 4 y 5 que son aguas subterráneas con alguna característica de agua superficial pero a pesar que se van alejando de la zona costera el aporte de cloruros es mayor. Aparte, con la concentración más baja se tiene al Canal de Riego (2) con características de aguas superficiales donde el cloruro es aportado, posiblemente, por precipitaciones ocurridas en la región.

Aranda (2007) reportó, para Aguasana, valores hasta 1946 mg/l; Benítez (2007), para El Pilar, valores hasta 1953 mg/l y Vallejo (2010), para el Volcán de Humboldt, 1230,1 mg/l. Estos valores son bastante altos con respecto a la región de Cariaco, que posee baja intrusión marina y bajo aporte de cloruro por parte de las lluvias en la zona.

Sulfatos

Esta especie procede del lavado de terrenos formados en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias y de la descomposición de sustancias orgánicas. Sin embargo, la disolución de sales sulfatadas (yeso y anhidrita, fundamentalmente) representa el aporte cuantitativamente más importante de este ion a las aguas subterráneas.

El contenido de los sulfatos en el periodo seco fue de 3,64 mg/l en el Canal de Riego (2) a 26,48 mg/l en El Manantial casa (5) con un promedio de la zona de 14,95 mg/l. Durante la época de lluvia, las aguas estudiadas en la región de Cariaco fluctuaron de 14,92 mg/l en Poza Cristal (1) a 57,03 mg/l en El Manantial balneario (4) con un promedio de la zona de 30,2 mg/l. Las medias arrojadas por el estudio estadístico indican que hay diferencias significativas entre los dos periodos, como se muestra en la tabla A1 del apéndice A. Esto, posiblemente, debido al lavado de terrenos como consecuencia de la acción de las lluvias o por disolución de sales sulfatadas que aportaron el ion sulfato al agua.

A pesar de la baja cantidad, se nota su presencia en dichos acuíferos convirtiéndose en un atractivo turístico-terapéutico para las personas que visitan la región.

Entre estaciones no hay diferencias significativas.

Estos valores son bastante bajos con respecto a los reportados por Benítez (2007), para El Pilar con valores hasta 1525 mg/l, Aranda (2007), para Aguasana valores hasta 1609 mg/l y Vallejo (2010), para el Volcán de Humboldt hasta 910,5 mg/l.

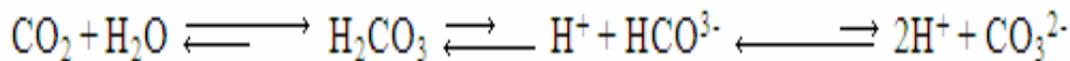
El contenido de estos aniones en la época de sequía se caracteriza por presentar la siguiente secuencia $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Esto puede estar indicando que estas aguas son mixtas de recientes infiltración y presentan menor tiempo de permanencia en el subsuelo, lo que trae como consecuencia un posible menor enriquecimiento por

minerales. Por otro lado, se pudo observar que las sales en el periodo de lluvia presentaron un comportamiento similar a lo encontrado en la época de sequía. También Taico (2005), reportó para Poza Cristal la secuencia $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ tanto para el periodo seco como para el periodo de lluvia. Aranda (2007), para Aguasana y Benítez (2007), para El Pilar reportaron la secuencia $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$.

En el estudio de aniones mayoritarios se observó nuevamente que la estación Canal de Riego (2) posee los valores más bajos de la zona, confirmando, así, las características ya mencionadas. Posiblemente, la lluvia que aporta el ion cloruro aguas adentro son más pobres en este ion y, por tanto, poseen menor cantidad de éste y en su recorrido va disminuyendo su concentración.

En el caso del grupo de pozas, el ion cloruro presenta valores más altos debido a su cercanía a la costa del Golfo de Cariaco las cuales son afectadas por las lluvias con importantes cantidades de éste.

Por otro lado, el ion bicarbonato se presenta en menor concentración en la estación 2 debido, posiblemente, a que hay menor interacción agua-roca, contrariamente a lo que sucede en las ubicadas estaciones más al este de la zona, donde predomina este anión, el cual es el que caracteriza sus aguas, como se muestra en la siguiente reacción:



El ion sulfato se presenta moderadamente, tanto para la estación 2 como para las otras fuentes, dado la proximidad a terrenos formados en ambientes marinos que aportan este ion debido al lavado de los mismos.

En la figura 7, se muestra la distribución de los aniones mayoritarios.

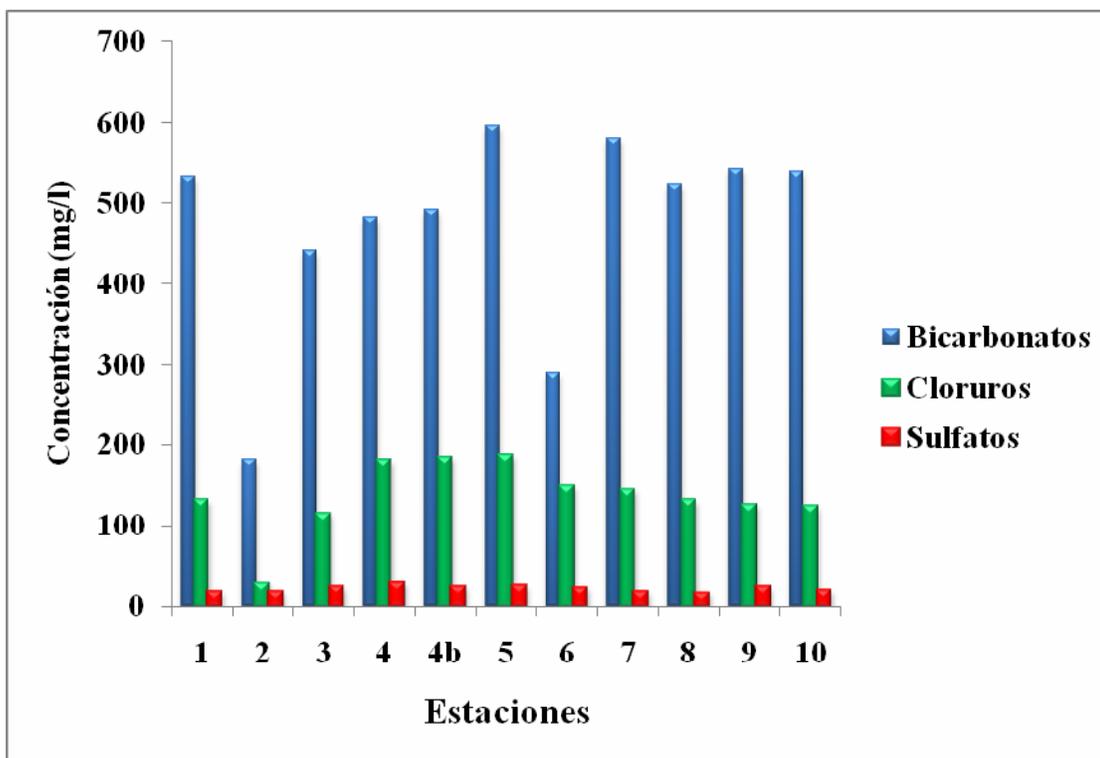


Figura 7. Distribución de las concentraciones promedios de los aniones mayoritarios en la región de Cariaco, estado Sucre.

Cationes Mayoritarios (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y Mg^{2+})

En la tabla 6 y 7, se presentan los resultados de las concentraciones de los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio, de las fuentes estudiadas en la región de Cariaco. Se observa que el calcio está en mayor proporción, tanto en el periodo seco como en el periodo lluvioso, seguido del sodio, potasio y magnesio respectivamente.

Calcio

Las aguas del subsuelo en contacto con rocas sedimentarias de origen marino obtienen la mayor parte de su contenido de calcio a partir de la disolución de la calcita, el aragonito, de la dolomita, de la anhidrita y del yeso. La concentración de calcio en un agua subterránea potable fluctúa entre 10 y 100 mg/l (Davis y De Wiest, 1971).

Tabla 6. Concentraciones de las especies catiónicas mayoritarias (Ca^{2+} y Na^+) expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.

Sequía				
Estaciones	Ca²⁺(mg/l)		Na⁺(mg/l)	
	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09
1	172±13	395±13	39,62±0,02	86,20±0,01
2	115±13	395±13	3,23±0,016	15,00±0,01
3	99±13	310±13	44,70±0,02	87,80±0,01
4	-	303±13	-	126,61±0,01
5	-	341±13	-	131,83±0,01
8	-	307±13	-	82,60±0,01
9	-	339±13	-	575,20±0,01
10	-	393±13	-	152,80±0,01
*Promedio de la zona	295±13		147,15±0,01	
*Desviación	110		155,65	
Lluvia				
Estaciones	Ca²⁺(mg/l)		Na⁺(mg/l)	
	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08
1	283±13	333±13	67,8±0,8	130,40±0,01
2	313±13	128±13	3,61±0,01	53,20±0,01
3	306±13	298±13	18,9±0,8	139,40±0,01
4	42±13	320±13	124,2±0,6	174,20±0,01
5	184±13	-	109,2±0,8	-
8	93±13	311±13	75,4±0,8	154,40±0,01
9	80±13	344±13	71,6±0,8	125,40±0,01
10	241±13	136±13	56,5±0,8	118,40±0,01
*Promedio de la zona	228±13		105,06±0,81	
*Desviación	103		42,23	

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

Tabla 7. Concentraciones de las especies catiónicas mayoritarias (K^+ y Mg^{2+}) expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.

Sequía				
Estaciones	K⁺(mg/l)		Mg²⁺(mg/l)	
	11/05/07	15/05/09	11/05/07	15/05/09
1	8,10±0,01	48,20±0,04	4,40±0,01	5,30±0,01
2	0,8±0,1	24,20±0,04	2,80±0,01	1,30±0,01
3	7,90±0,01	41,60±0,04	4,30±0,01	5,38±0,01
4	-	42,80±0,04	-	5,82±0,01
5	-	45,00±0,04	-	7,04±0,01
8	-	33,80±0,04	-	5,28±0,01
9	-	48,80±0,04	-	5,52±0,01
10	-	50,40±0,04	-	6,10±0,01
*Promedio de la zona	36,30±0,02		5,46±0,01	
*Desviación	15,81		0,80	
Lluvia				
Estaciones	K⁺(mg/l)		Mg²⁺(mg/l)	
	19/07/07	04/10/08	19/07/07	04/10/08
1	6,96±0,02	37,20±0,04	3,80±0,01	5,14±0,01
2	1,08±0,02	36,20±0,04	1,60±0,01	1,08±0,01
3	14,45±0,02	89,80±0,04	2,20±0,01	5,54±0,01
4	12,0±0,4	61,80±0,04	1,60±0,01	6,04±0,01
5	7,46±0,02	-	3,70±0,01	-
8	9,96±0,02	43,20±0,04	3,00±0,01	5,36±0,01
9	6,96±0,02	36,20±0,04	4,00±0,01	5,02±0,01
10	12,03±0,41	30,30±0,04	3,40±0,01	6,45±0,01
*Promedio de la zona	28,33±0,11		4,25±0,01	
*Desviación	24,30		1,42	

(-) no se tienen registros.*Sin tomar estación 2.

En época seca, la concentración de este calcio varió de 99 mg/l en Cocoteros (3) a 393 mg/l en El Castaño (10) con un promedio de la zona de 295 mg/l. En temporada de lluvia varió de 42 mg/l en El Manantial balneario (4) a 344 mg/l en Hacienda (9) con un promedio de la zona de 228 mg/l. El calcio se presenta como el segundo componente con mayor proporción en este estudio. No hay diferencia significativa entre las medias de ion calcio para los dos periodos estudiados, como se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Entre estaciones no hay diferencias significativas. Es de resaltar que, para este componente el Canal de Riego (2) con aguas superficiales se comporta de manera parecida a las otras estaciones que son de origen subterráneo.

Los controles de la concentración de Ca^{2+} en el agua pueden estar influenciado por intercambio con otros cationes, principalmente, el sodio retenido en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua. Se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad.

Aranda (2007) reportó valores del ion calcio para Aguasana hasta 98,9 mg/l, mientras que Benítez (2007) reportó para El Pilar hasta 104,9 mg/l y Vallejo (2010) reportó para La Ceiba 365,9 mg/l. Estos valores son bastante parecidos a los reportados en la región Cariaco a pesar de las diferencias que presentan las dos zonas.

Sodio

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos de tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presentan fundamentalmente como NaCl.

Una fuente importante de sodio la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras, tanto por intrusión marina como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar. Las sales de sodio son altamente solubles y tienden a

permanecer en solución, ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del calcio. Sin embargo, el sodio puede ser absorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado con calcio provocando una disminución de la dureza de las aguas. La presencia de sodio en aguas naturales es muy variable pudiendo alcanzar hasta 120 000 mg/l en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa los 100 a 150 mg/l en aguas dulces comunes.

En la época seca varió de 3,23 mg/l en El Canal de Riego (2) a 575,20 mg/l en Hacienda (9) con un promedio de la zona de 147,15 mg/l. En temporada de lluvia varió de 3,61 mg/l en El Canal de Riego (2) a 174,20 mg/l en El Manantial balneario (4) con un promedio de la zona de 105,06 mg/l. Las medias muestran que no existe diferencia significativa del ion sodio para los dos periodos estudiados. Sin embargo, en el periodo seco se reportó para Hacienda (9) 575,20 mg/l, un valor alto, debido, posiblemente, a aportes antropogenicos generados por la actividad agrícola de la zona. Esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Entre estaciones no hay diferencias significativas. La estación Canal de Riego (2) muestra notables diferencias con las otras estaciones, la primera posee aguas superficiales y las demás poseen aguas subterráneas.

Benítez (2007) reportó para El Pilar valores de sodio hasta 2642 mg/l. mientras que Aranda (2007) reportó para Aguasana hasta 3273 mg/l y Vallejo (2010), para el Volcán de Humboldt hasta 932 mg/l. Es evidente la gran diferencia entre estas zonas y las aguas estudiadas en la región Cariaco con respecto al ion sodio, lo que sugiere que su procedencia sea muy diferente.

Potasio

Procede de la meteorización de los feldspatos y, ocasionalmente, de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular, de sales tipo silvina (KCl) o carnalita (KClMgCl₂). El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación

de arcillas y de absorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico. En aguas subterráneas no suele sobrepasar los 10 mg/l, a excepción de algunas salmueras. En ocasiones, más altas concentraciones pueden ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales.

En época seca los valores variaron de 0,80mg/l en El Canal de Riego (2) a 50,40 mg/l en El Castaño (10) con un promedio de la zona de 36,30 mg/l. En época de lluvia fluctuó de 1,08 mg/l en el Canal de Riego (2) a 89,80 mg/l en Cocoteros (3) con un promedio de la zona de 28,33 mg/l. El Canal de Riego (2) posee los valores más bajos para esta catión, evidenciando el poco aporte de la interacción agua-roca en ese sector. En las fuentes restantes va en aumento hasta llegar a valores de consideración, como se muestra en Cocoteros (3) posiblemente debido a las precipitaciones que permiten el lavado de los suelos aportando importantes cantidades de este ion. El estudio estadístico revela que no hay diferencias significativas entre las medias de las muestras para los dos periodos estudiados, tal como se muestra en la tabla A1 de apéndice A.

Entre estaciones el estudio no arrojó diferencias significativas. En las aguas subterráneas, las concentraciones de K^+ por encima de 100 mg/l puede, en ocasiones, ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales, por la cercanía con aguas marinas y por las precipitaciones constante. Estas aguas no sobrepasan este valor, por lo que se considera que, este componente, no presenta contaminación. El Canal de Riego (2), con valores bastante bajos, evidencia la diferencia que hay entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

Por el contrario, en los valores para el ion potasio reportados por Aranda (2007), para Aguasana, Benítez (2007) y Vallejo (2010) los valores están por encima de 500 mg/l, sin significar, en estos casos, que las aguas sean contaminadas, ya que las fuentes se encuentran totalmente aisladas de centros poblados.

Magnesio

Las fuentes más comunes de magnesio en la hidrosfera están constituidas por la dolomita que se encuentra en las rocas sedimentarias, por el olivino, la biotita, la hornblenda y la augita, que se encuentra en las rocas ígneas y por la serpentina, el talco, el dióxido y la tremolita, de las rocas metamórficas; además, la mayor parte de las calcitas también contienen algo de magnesio, por lo que una disolución de roca caliza puede proporcionar al mismo tiempo grandes cantidades de calcio y de magnesio. Las concentraciones más frecuentes de magnesio varían entre 1 y 40 mg/l. las aguas procedentes de rocas ricas en magnesio pueden llegar a contener hasta 100 mg/l de magnesio. Las concentraciones superiores a 100 mg/l son más bien raras, a excepción del agua de mar y de las salmueras.

El magnesio en las aguas estudiadas de la región Cariaco en temporada seca variaron de 1,30 mg/l en El Canal de Riego (2) a 7,04 mg/l en El Manantial entrada (5) con un promedio de la zona de 5,46 mg/l. En temporada de lluvia las concentraciones fluctuaron de 1,08 mg/l en El Canal de Riego (2) a 6,45 mg/l en El Castaño (10) con un promedio de la zona de 4,25 mg/l.

Existen diferencias significativas para los dos periodos estudiados. Las estaciones tienen similar comportamiento tanto en periodo seco como en periodo de lluvia. Esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A.

Entre estaciones no hay diferencias significativas. El Canal de Riego (2) posee una estructura de concreto que no permite mayor interacción con los suelos del río de donde proviene, ocasionando que sus aguas sean pobres en magnesio, como ya se ha visto que sucede con otros componentes de mayor importancia que evidencian el origen superficial de esta estación.

Los valores para el ion magnesio reportados por Aranda (2007), para Aguasana son de 63,1 mg/l, Benítez (2007), para El Pilar de hasta 39,4 mg/l y Vallejo (2010), para La

Ceiba valores de hasta 128,3 mg/l. Valores altos comparados con los reportados en este estudio.

Las aguas de la región de Cariaco se caracterizan por su contenido catiónico que presenta un comportamiento químico similar durante las épocas seca y lluviosa de $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, lo que indica que estas aguas en su mayoría son de carácter superficial. Para Taico (2005) Poza Cristal tiene la secuencia $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. Mostrando que hubo un cambio en la secuencia para esta poza en este estudio. Benítez (2007), para el Pilar y Aranda (2007) para Aguasana tienen la secuencia $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$.

El estudio de cationes muestra que la estación 2 y las otras fuentes poseen concentraciones similares de calcio, pero diferentes para los otros cationes. El Canal de Riego (2) posee aguas superficiales provenientes del río Cariaco o Carinicuaó y son utilizadas para el desarrollo del sector agrícola y ganadero de la región.

Por otro lado, las estaciones con valores apreciables de estos componentes confirman que estas aguas son de origen subterráneo, pues poseen mayor interacción con las formaciones de rocas de la zona, las cuales producen el aumento de los componentes en las mismas y, permite ofrecer un atractivo adicional en la región, como son los complejos turísticos que ofrecen balnearios con aguas con supuestas propiedades medicinales y de recreación, para el disfrute del público en general.

En la figura 8, se muestra la distribución de las concentraciones promedios de los cationes mayoritarios. Se visualiza cómo el calcio está en mayor proporción, le sigue el sodio, luego el potasio y por último el magnesio. En la gráfica se muestra las diferencias en las concentraciones de los componentes entre el Canal de Riego (2) y las otras estaciones.

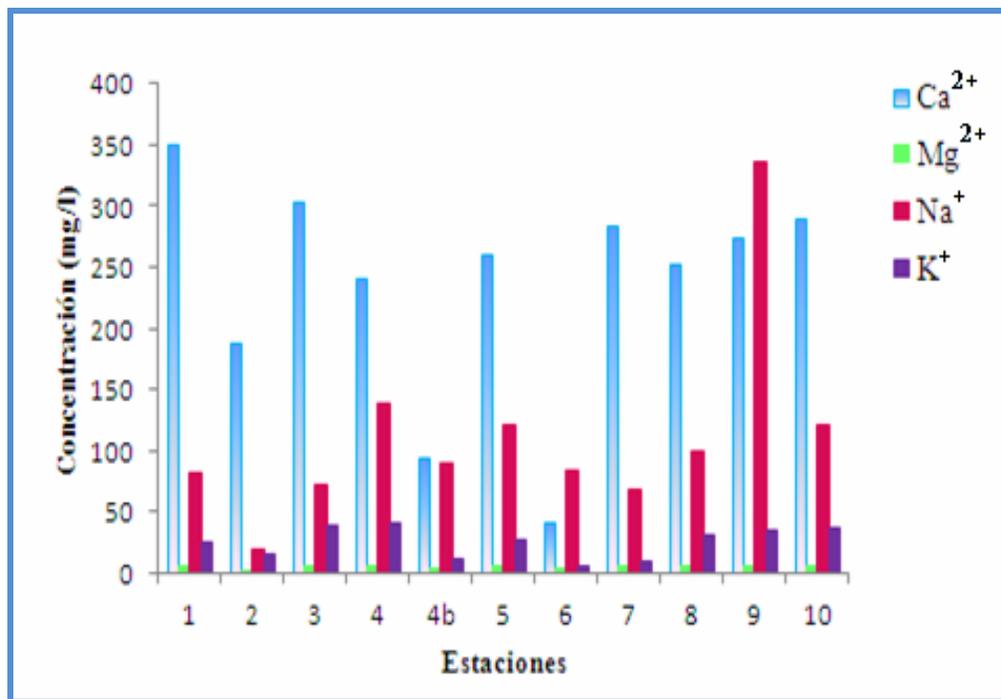


Figura 8. Distribución de la concentraciones promedio de los cationes mayoritarios calcio, magnesio sodio y potasio.

Balance De Carga

El balance de carga se realizó para verificar, de acuerdo con los análisis, si los componentes positivos están en igual proporción que los componentes negativos. En aguas naturales suelen admitirse errores porcentuales de hasta 20%, debido a que el contenido mineral de las aguas es un poco complejo. Es posible la presencia de otras especies, ya sean orgánicas o inorgánicas, las cuales no fueron analizadas y que son unas de las posibles causas de la notable diferencia entre aniones y cationes. De los resultados obtenidos, se tiene que el total de cargas positivas es de 18,90 meq/l y de cargas negativas se obtuvo 12,10 meq/l. Existen más especies positivas que negativas, con una diferencia del 21,95%.

Diagrama De Piper Y Gibbs

Se utilizó el Diagrama de Piper para determinar el tipo de agua presente en las pozas de la región de Cariaco, donde se representan gráficamente los aniones y cationes

mayoritarios de estas aguas. El diagrama se realizó con el software GroundWaterfor Windows (GWW), con los datos obtenidos para las 11 fuentes, donde se encuentran distribuidas en la zona de estudio, por lo tanto, se desarrolló un solo diagrama para todas.

El Diagrama de Piper, de la figura 9, indica una clasificación de las aguas, tomando como referencia los cationes y aniones analizados en la región Cariaco. Se muestra que los cationes en mayor proporción son el calcio y el sodio (círculo azul). Posteriormente, se observa que en los aniones predomina el bicarbonato (círculo verde). Relacionando los aniones y cationes se observa que en la parte superior del diagrama, las aguas se ubican como bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas (círculo rojo).

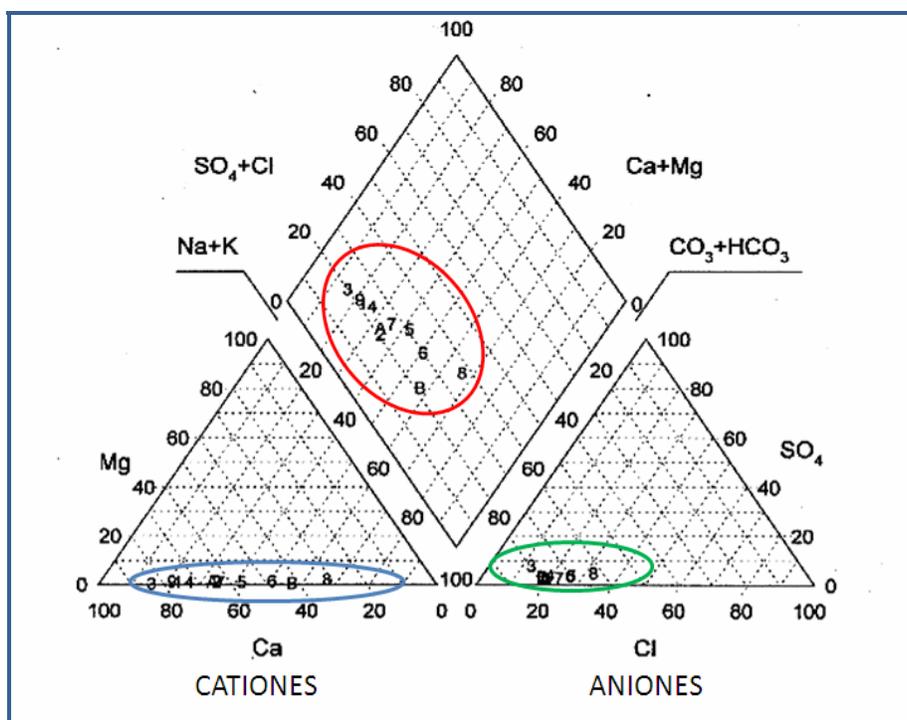


Figura 9. Diagrama de Piper de aniones y cationes mayoritarios.

Las aguas de Cariaco son clasificadas como bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas esto debido a la interacción de las aguas con las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, esto hace que predominen estos iones en solución.

El diagrama de Gibbs en la figura 11 muestra que las aguas estudiadas en la región Cariaco son principalmente originadas por el lavado de rocas que ocurren en los terrenos de la zona. Esta tendencia permanece en todos los periodos estudiados, ya que solo depende de la variación de los cationes mayoritarios sodio y calcio. Las aguas bicarbonatadas sódicas son, por lo general, de origen profundo, mientras que las bicarbonatadas cálcicas suelen ser más superficiales y alcanza su mineralización en su interacción con rocas sedimentarias, es por esto que, posiblemente, estas aguas sean una mezcla de aguas de diferente procedencia y características ya mencionadas anteriormente.

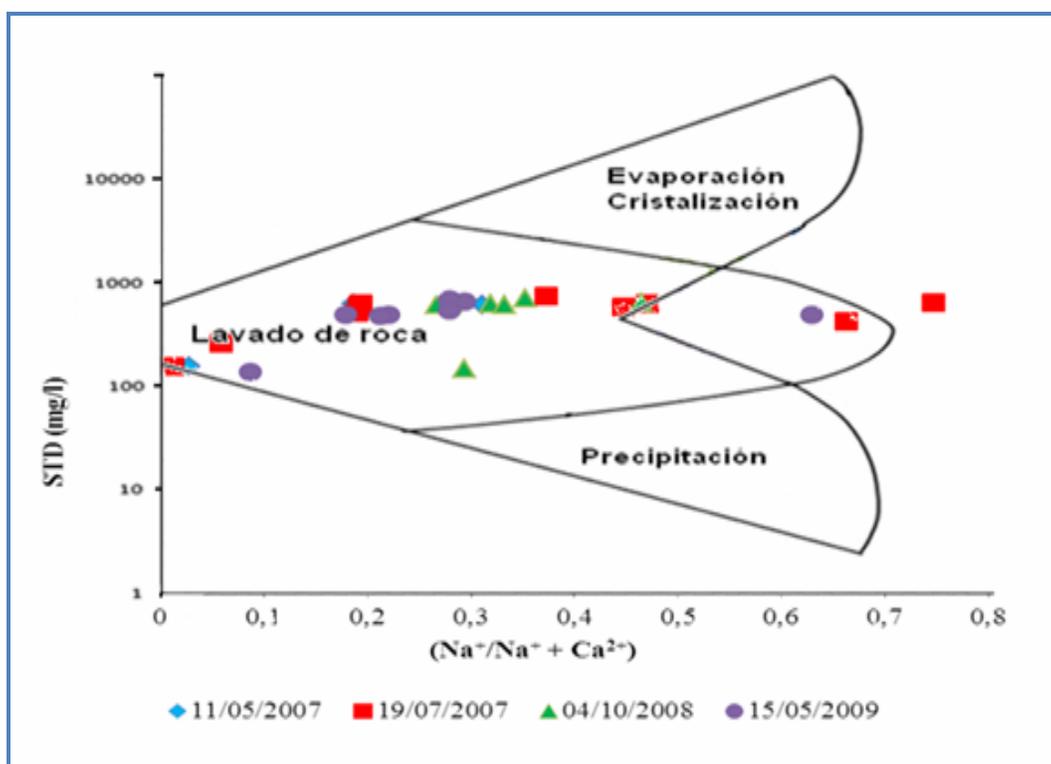


Figura 10. Diagrama de Gibbs.

Sílice

El origen fundamental de la sílice en el agua subterránea son los procesos de hidrólisis de feldspatos y silicatos en general. El cuarzo o la sílice amorfa, por su baja solubilidad, fuertemente dependiente de la temperatura, no son fuentes significativas del

SiO₂ del agua subterránea. Aunque la sílice disuelta suele representarse como SiO₂, en la mayoría de las aguas naturales aparece como H₄SiO₄ monomérico, que no comienza a disociarse hasta valores de pH superiores a 9, siendo su solubilidad prácticamente independiente del pH hasta dicho valor. Por lo general, el valor de SiO₂ en agua subterránea sobrepasa los 3-8 mg/l (Drever, 1997).

En la tabla 8, se muestran las concentraciones promedios obtenidas del SiO₂ para los dos periodos estudiados.

Tabla 8. Concentraciones promedios del dióxido de sílice expresado en mg/l, de las aguas Cariaco.

Estaciones	SiO ₂ (mg/l)			
	Sequía		Lluvia	
	11/05/07	15/05/09	19/07/07	04/10/08
1	22,50±0,02	19,32±0,01	21,83±0,02	17,85±0,01
2	8,22±0,01	8,40±0,01	44,54±0,02	7,56±0,01
3	23,14±0,02	21,00±0,02	18,38±0,01	21,83±0,02
4	-	24,56±0,02	9,94±0,01	25,40±0,02
4b	-	-	18,81±0,01	-
5	-	22,04±0,02	24,00±0,02	-
6	-	-	28,76±0,02	-
7	-	-	20,97±0,02	-
8	-	20,16±0,02	25,94±0,02	20,36±0,02
9	-	21,00±0,02	21,19±0,02	21,00±0,02
10	-	19,74±0,01	24,00±0,02	20,16±0,02
*Promedio de la zona	21,50±0,02		22,90±0,02	
*Desviación	5,55		7,64	

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

La concentración de la sílice en las muestras estudiadas en temporada seca varió de 8,22 mg/l en El Canal de Riego (2) a 24,56 mg/l en El Manantial balneario (4) con un

promedio de la zona de 21,50 mg/l. En época de lluvia fluctuó de 7,56 mg/l en el Canal de Riego (2) a 44,54 mg/l en el Canal de Riego (2) con un promedio de la zona de 22,90 mg/l. Las concentraciones de Si O₂ tuvieron similar comportamiento tanto en periodo seco como de lluvia, esto se muestra en la tabla A1 del apéndice A. Entre estaciones no existen diferencias significativas para esta especie.

El Canal de Riego (2) fue la estación con la menor y mayor concentración de sílice debido a el aporte que produce la hidrólisis de feldspatos y silicatos.

Análisis De Los Isótopos Oxígeno 18 (¹⁸O) Y Deuterio (²H)

Luego del estudio de los isotopos estables deuterio (²H) y oxígeno-18 (¹⁸O), se pudo obtener información sobre el origen de estas aguas y sobre la relación entre ellas.

Tabla 9. Estudio de los isotopos ¹⁸O y ²H, expresados en valores delta por mil (‰), de las aguas de la región Cariaco, medidos en el laboratorio a 25°C.

Año	Estación	δ²H‰	Desviación estándar (δ²H‰)	δ¹⁸O‰	Desviación estándar (δ¹⁸O‰)
2008	1	-21,0	0,31	-4,10	0,29
	2	-15,5	0,42	-3,20	0,04
	3	-20,7	0,57	-4,03	0,02
	4	-20,4	0,21	-3,89	0,04
	8	-21,1	0,28	-4,47	0,01
	9	-21,2	0,07	-4,39	0,08
	10	-20,1	0,36	-3,94	0,29
2009	1	-22,0	1,12	-5,13	0,12
	2	-15,1	0,35	-3,89	0,08
	3	-21,1	0,40	-4,99	0,23
	4	-21,1	0,87	-4,45	0,30
	5	-20,8	0,78	-4,16	0,27
	8	-20,8	0,61	-4,68	0,00
	9	-21,5	0,80	-4,65	0,30
	10	-19,9	0,53	-3,82	0,30

Para el análisis isotópico se midieron los niveles de oxígeno 18 y deuterio. En la tabla 9 se muestran los resultados de las concentraciones de estos isótopos en aguas naturales, que se midieron en un espectrómetro de masas y están expresadas en valores de partes por mil con su desviación estándar en relación con la composición isotópica del agua en estudio.

Las muestras colectadas en dos periodos 2008 y 2009 arrojaron los siguientes resultados, el deuterio varió desde -15,5‰ en el Canal de Riego (2) a -21,2‰ en Hacienda (9) y el oxígeno 18 desde -3,20‰ en el Canal de Riego (2) a -4.47‰ en Aguas de Moisés (8). En 2009 el deuterio varió desde -15,1‰ en Canal de Riego (2) a -21,5 ‰ en Hacienda (9) y de oxígeno 18 desde -3,82‰ en El Castaño (10) y -5,13‰ en Poza Cristal (1).

De acuerdo con Herraes (2008), cuando la evaporación de agua libre tiene lugar en condiciones de no equilibrio, es decir, la reacción se da en una sola dirección en la cual el proceso (en este caso la evaporación) no es reversible, la pendiente de la recta es inferior a 8, variando en el rango de 4 y 6 (línea de aguas evaporadas). Debido a dicha evaporación, la concentración de las moléculas de agua más pesadas aumentan en aguas superficiales y los valores de δ se desplazan hacia valores menos negativos.

El estudio de isótopos en aguas naturales es bastante extenso, ya que existen diversos factores que pueden influir en la variación de un isótopo determinado. Por ejemplo, hay que considerar los aportes del aire, del agua de lluvia, factores climáticos (temperatura, altitud, latitud,...). Si se desea un estudio más a fondo como las variaciones isotópicas, debido a las precipitaciones, se pueden seguir a través de la toma de muestras sucesivas por cada lluvia caída en la zona de estudio, midiendo el aporte de cada isótopo. Para saber si la recarga de un acuífero es proveniente de aguas profundas o de lluvias recientes, es necesario conocer las características isotópicas de las aguas que están en el subsuelo, y medir igualmente la composición isotópica del agua de lluvia.

Esta aguas se encuentran en un mismo cuadrante a diferencia de Vallejo (2010) que

reportó aguas además del cuadrante tres, también obtuvo aguas ubicadas en los cuadrantes uno y dos. Éstas son producidas por causas especiales, tales como tormentas. Por tanto, las aguas de la región Cariaco son el resultado de procesos de evaporación y condensación en la atmosfera, con una abundancia isotópica característica de la precipitación sobre la zona, la cual se trasmite al agua superficial (ríos, lagos, entre otros) y a la recarga de los acuíferos. Los valores obtenidos en los años 2008 y 2009 se muestran similares, lo que indica que ésta es la particularidad de la zona, donde es muy posible que exista una mezcla de aguas de diferentes características que interactúan en los sistemas de ríos, pozas y balnearios de la región.

Se observa a la estación 2 ligeramente apartada de las otras fuentes en los dos periodos, lo que revela que si bien son aguas superficiales, éstas se agrupan por estar en la misma zona y sufren los cambios atmosféricos que se producen en la región. Su ubicación en el gráfico indica que posiblemente estas aguas son de origen superficial y costeras o una mezcla de ellas.

En la figura 11, se muestra la representación de la relación isotópica entre ^{18}O y ^2H .

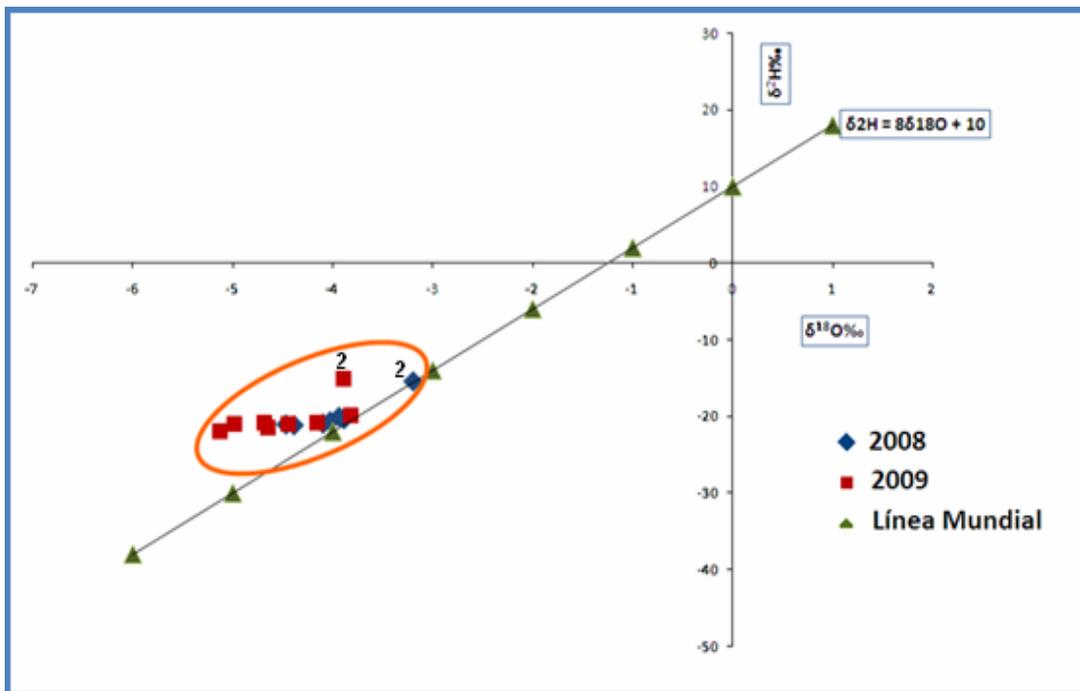


Tabla 10. Concentraciones promedios de las especies minoritarias en periodo seco expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.

Estaciones	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺
1	-	0,01	0,225	0,040	0,025	0,001	0,012
2	0,003	0,01	0,677	0,027	0,006	0,032	0,006
3	0,001	0,01	0,125	0,115	0,004	0,003	0,005
4	0,002	-	0,535	0,035	0,001	0,012	0,029
4b	-	-	-	-	-	-	-
5	0,003	0,01	0,198	0,036	0,001	0,004	0,034
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	0,003	-	0,103	0,026	0,002	0,002	0,003
9	0,003	-	0,837	0,012	0,003	-	0,005
10	0,002	-	0,498	0,024	0,007	0,003	0,009
*Promedio de la zona	0,002	0,01	0,360	0,041	0,006	0,004	0,014

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

Las aguas estudiadas en la región de Cariaco no presentaron contaminación por estos metales. Todos los valores tanto para el periodo seco como para el periodo de lluvia se encuentran por debajo de los mínimos permisibles y es posible que no existan factores externos que alteren las concentraciones de estos componentes.

Sin embargo, es importante que se tomen muy en cuenta estos parámetros, pues además del central azucarero, la actividad turística y la producción agrícola y ganadera, la poza El Castaño (10) posee una embotelladora de agua potable de donde no se conoce el origen específico del llenado ni su control sanitario y siempre se presentan renuentes a permitir la recolección de las muestras, lo que, tal vez, significa poca responsabilidad en ofrecer agua de calidad óptima.

Tabla 11. Concentraciones promedios de las especies minoritarias en periodo de lluvia expresadas en mg/l, de las aguas de Cariaco, determinadas en el laboratorio a 25°C.

Estaciones	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Ni ²⁺
1	0,001	0,01	0,242	0,013	0,019	-	0,011
2	0,003	-	0,158	0,023	0,006	0,002	0,002
3	0,002	0,01	0,363	0,020	0,004	0,002	0,008
4	0,002	-	1,024	0,027	0,002	0,011	0,026
4b	0,002	-	0,114	0,020	0,002	0,004	0,004
5	0,002	0,01	0,248	0,028	0,004	0,007	0,020
6	0,002	-	0,744	0,034	-	0,007	0,019
7	0,002	-	0,160	0,012	-	0,002	0,002
8	0,002	-	0,157	0,030	0,003	0,002	0,006
9	0,002	-	0,657	0,027	0,003	0,001	0,005
10	0,002	-	0,588	0,011	0,005	0,005	0,011
*Promedio de la zona	0,002	0,01	0,430	0,022	0,004	0,004	0,011

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

Hierro (Fe²⁺)

El hierro suele encontrarse en forma de Fe²⁺ aunque puede presentarse como Fe³⁺, en función del pH, contenido en oxígeno y dependiendo, a menudo, del contenido de otros iones en el agua (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y otros). Su concentración en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación - reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros, formación de complejos especialmente con materia orgánica y, también, por la actividad metabólica de animales y plantas. Valores entre 1 y 10 mg/l pueden ser comunes, aunque lo normal es que se encuentre por debajo de 0,1 mg/l.

Los valores arrojados por el ion hierro fluctuaron de 0,104 en Aguas de Moisés entrada (8) a 0,918 mg/l en Canal de Riego (2) con un promedio de la zona de 0,384 mg/l para el periodo seco. Mientras que, en el periodo de lluvia, varió de 0,106 mg/l en Canal de

Riego (2) a 1,111 mg/l en El Manantial entrada (4) con un promedio de la zona de 0,425 mg/l. No hay diferencias significativas para los dos periodos como se muestra en la tabla A1 y el apéndice A.

La tabla de contraste de rango múltiples de Duncan para el hierro según estaciones (tabla A6 en apéndice A) presenta 4 grupos homogéneos con características similares entre grupos, donde se puede destacar dos fuentes que están muy cercanas y están en grupos diferentes, como El Manantial balneario (4) y El Manantial entrada (5), la primera tuvo valores más altos que la segunda debido a que fue afectada visiblemente por la lluvia anegando sus terrenos mientras que la otra fue tomada del pozo de donde se distribuye en camiones cisterna a la población y según sus valores no fue afectada por las precipitaciones.

Los valores de los metales trazas reportados por Aranda (2007), para Aguasana fueron desde 0,01 mg/l para el cobre y 4,45 mg/l para el hierro y Benitez (2007), para el Pilar entre 0,06 mg/l para el zinc y 0,66 mg/l para el hierro, mostrando ser ligeramente más altos que los reportados en la región de Cariaco pero, sin embargo, por debajo de los valores límites permitidos.

Nutrientos

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmosfera (78% en volumen); en forma oxidada constituye una fracción relativamente importante en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos animales o vegetales que lo extraen de la atmosfera para su metabolismo). En las rocas, sin embargo, sólo se presenta como elemento minoritario. El nitrógeno se puede presentar en forma de NH_3 , NH_4^+ y, por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en NO_2^- y, finalmente, en NO_3^- que es la forma más usual y estable. Los procesos de oxidación-reducción de las especies nitrogenadas en el agua están influenciados por los tratamientos biológicos y, en consecuencia, los productos finales dependerán del número

y tipo de organismos que intervengan en ellos.

Las fuentes estudiadas en la región están rodeadas de actividades agrícolas y turísticas que pueden ocasionar en un momento determinado contaminación en el acuífero y provocando que éstas alteren negativamente los balnearios, siembra y cría de animales que es la mayor sustentación de la zona.

En la tabla 12, se muestran las concentraciones promedio de nutrimentos obtenidos en los dos periodos estudiados.

Tabla 12. Valores promedios de nutrimentos (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} y NH_4^+), expresados en mg/l, de las aguas de Cariaco determinadas en el laboratorio.

Estaciones	NO_3^-		NO_2^-		PO_4^{3-}		NH_4^+	
	Seco	Lluvia	Seco	Lluvia	Seco	Lluvia	Seco	Lluvia
1	3,177	3,244	0,010	0,002	0,055	0,059	0,060	0,007
2	0,812	0,648	0,044	0,009	0,037	0,033	0,060	0,004
3	2,907	2,744	0,010	0,040	0,060	0,306	0,030	0,013
4	5,084	2,444	0,013	0,013	0,067	0,238	0,009	0,026
4b	-	2,471	-	0,020	-	0,080	-	0,028
5	5,633	3,534	0,074	0,003	0,036	0,018	0,084	0,010
6	-	1,156	-	0,006	-	0,037	-	0,017
7	-	0,071	-	0,001	-	0,049	-	2,629
8	3,463	2,392	0,008	0,011	0,063	0,053	0,009	0,019
9	4,371	3,102	0,010	0,003	0,049	0,044	0,010	0,006
10	2,360	2,544	0,007	0,017	0,023	0,075	0,005	0,021
*Promedio de la zona	3,856	2,370	0,018	0,012	0,053	0,096	0,030	0,278

(-) no se tienen registros. *Sin tomar estación 2.

Nitratos (NO_3^-)

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la

disolución de rocas que lo contengan, lo que ocurre raramente, o bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no contaminadas raramente, excede 10 mg/l. El origen de los nitratos en las aguas subterráneas no siempre es claro. Son relativamente estables, pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a nitrógeno o amonio en ambientes reductores. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando elevadas concentraciones y presentando, por lo general, una estratificación clara con predominio de las concentraciones más elevadas en la parte superior de los acuíferos libres.

La concentración del ion nitrato en las aguas de la región Cariaco son bajas. En periodo seco la concentración varió de 0,812 mg/l en El Canal de Riego (2) a 5,633 mg/l en El Manantial entrada (5) con un promedio de la zona de 3,856 mg/l. En periodo de lluvia varió de 0,071 mg/l en Aguas de Moisés (7) a 3,534 mg/l en El Manantial entrada (5) con una promedio de la zona de 2,370 mg/l. Estos valores indican que no hay contaminación por el ion nitrato para los dos periodos estudiados. Los nitratos son especies dañinas cuando exceden los 10 mg/l, como lo indica el decreto N° 883 del Ministerio del Ambiente (1995). Puesto que las plantas sólo pueden aprovechar el nitrógeno en forma de nitratos, el tipo de fertilizante aplicado condiciona la proporción de nitrógeno utilizable por las mismas y, en consecuencia, la cantidad no aprovechada por ellas se infiltra hacia el acuífero. La concentración de nitrato en el agua de infiltración depende, pues, del tipo de fertilizante y, además, de la frecuencia, cantidad y modo de aplicación del nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo, así como de su permeabilidad y grado de humedad.

Lo reportado por Aranda (2007), para Aguasana fue de 3,18 mg/l par la época seca y Benítez (2007), para el Pilar fue de 1,70 mg/l similares a los reportados en este estudio.

Nitritos (NO_2^-)

El ion nitrito puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción, microbiana o no, de los nitratos. Su presencia

en el agua se puede considerar como un indicio de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y, tal vez, de la impotabilidad del agua debida a la toxicidad de este ion.

Las aguas estudiadas en la región de Cariaco presentan bajas concentraciones de este ion. En el periodo seco varió desde 0,007 mg/l en El Castaño (10) a 0,044 mg/l en Canal de Riego (2) con un promedio de la zona de 0,018 mg/l. Durante el periodo de lluvia presentó desde 0,90 mg/l en Aguas de Moisés (7) a 0,040 mg/l en Cocoteros (3) con un promedio de la zona de 0,012 mg/l. De acuerdo con los estudios estadísticos, no hay diferencias significativas para NO_2^- en los dos periodos estudiados. Las fuentes no presentan contaminación por parte de este componente.

Estas muestras presentan baja concentración por este ion, el Canal de Riego (2) es el que presenta la más alta concentración 0,044 mg/l del ion nitrito. En comparación con los nitratos, el nitrito es menos soluble en agua y menos estable. Su presencia en el agua es consecuencia de la oxidación del NH_3 o como resultado de la reducción de NO_3^- .

Fosfato (PO_4^{3-})

El fósforo en las aguas naturales, al igual que el nitrato, es un nutriente esencial para las plantas, pero se encuentra en concentraciones mucho menores que éste, probablemente por su tendencia a formar iones complejos y compuestos de baja solubilidad con un extenso número de metales. Las principales fuentes de fosfato se asocian a la disolución de rocas ígneas o sedimentarias marinas, a los fertilizantes fosfatados y a las aguas residuales de origen antropogénico.

En el periodo de sequía fluctuó en 0,023 mg/l en Hacienda (10) y 0,067 mg/l en El Manantial balneario (4) con un promedio de la zona de 0,053 mg/l. En el periodo de lluvia varió en 0,018 mg/l en El Manantial entrada (5) a 0,306 mg/l en Cocoteros (3) con un promedio de la zona de 0,096 mg/l. Estas aguas presentan poca contaminación por fosfatos lo que evidencia que no hay fuentes naturales y antropogénicas a estas aguas y

en su recorrido se enriquece muy poco con este anión.

Amonio (NH_4^+)

Generalmente, el amonio aparece sólo como trazas en aguas subterráneas, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor, favorecido por los efectos antropogénicos. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea. Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana, su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicio de contaminación reciente probable.

Se detectó en temporada seca bajas concentraciones de este catión, desde 0,005 mg/l en el Castaño (10) a 0,060 mg/l en El Canal de Riego (2) con un promedio de la zona de 0,030 mg/l. Durante el periodo de lluvia varió desde 0,006 mg/l en Hacienda (9) a 2,629 mg/l en Aguas de Moisés (7) con un promedio de la zona de 0,278 mg/l. Estas muestras no presentan contaminación por amonio. El valor de Aguas de Moisés (7) es alto con respecto a las demás, tal vez, debido a contaminación antropogénica posiblemente ocasionada por la actividad turística que se desarrolla en las instalaciones de la fuente, donde también existen piscinas que se utilizan como criaderos de peces para la recreación de turistas.

A pesar de ser una opción para el desarrollo económico de la zona, la actividad turística puede representar, y en muchos casos lo es, causa de contaminación de las aguas utilizadas para recreación, debido a que no poseen un control estricto de la utilización de las fuentes y no cuentan con un estudio de impacto ambiental que los oriente en la utilización y aprovechamiento del valioso recurso. Es por eso recomendable el monitoreo permanente de estas aguas que permitan un mayor y mejor supervisión, para preservar y evitar contaminación irreversibles en la región.

CONCLUSIONES

Las fuentes presentan temperaturas moderadas (26,3 a 33,6°C), indicando que son aguas de tipo hipotermales, influenciadas por la lluvia o corrientes superficiales que alteran dichas temperaturas en las estaciones.

Los valores obtenidos de pH (entre 6,27 a 7,19) indican el carácter neutro de los acuíferos estudiados en la región Cariaco.

Los nutrimentos nitrogenados y fosforados son bajos, indicando una incidencia natural. Las fuentes no presentan alteraciones de importancia por contaminación.

Los metales trazas en las aguas estudiadas, son muy escasos y en algunas pozas eran mínimas o no se detectaron, lo que indica que estas aguas no se encuentran contaminadas y conservan su calidad natural. El hierro se presentó como el más abundante, con un máximo de 1,11 mg/l

Los valores obtenidos de la conductividad y de los sólidos totales disueltos (STD), en las fuentes de agua de la región de Cariaco, caracterizan las aguas como mineralizadas, con una moderada cantidad de sólidos disueltos.

En las aguas de la región Cariaco se presenta la siguiente secuencia predominante para cationes mayoritarios $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, mientras que para los aniones la secuencia fue $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Por lo tanto, son aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas, lo que indica que estas aguas en su mayoría son de carácter superficial.

Los valores del dióxido de sílice, determinados como H_4SiO_4 , indican que no hay alteración de este componente en las aguas de las fuentes estudiadas en la región Cariaco.

La evaporación favorece la presencia de isotopos pesados, que prevalecen en el acuífero y pueden provenir de lluvias recientes o de cualquier fenómeno atmosférico natural. Todas las muestras se ubicaron en este tipo de aguas.

RECOMENDACIONES

Motivar a los organismos de gestión ambiental correspondientes de la zona de Cariaco, al estudio y monitoreo del comportamiento de las aguas de la región, provenientes, tanto de las precipitaciones como superficiales, posibles mezclas, contaminación y recorrido a través de toda el área.

Promover la investigación y monitoreo de las fuentes de agua en la región para evaluar sus temperaturas en el interior de la tierra y determinar la factibilidad para su posible aprovechamiento en el campo de la geotermia.

BIBLIOGRAFÍA

- Antigüedad, I. (1988). Estudio de acuíferos kársticos a partir de sus respuestas naturales. Aplicación a los sistemas del País Vasco. *Revista. de la Sociedad. Geológica de España, 1* (1-2): 211-227.
- Aranda, S. 2007. Características fisicoquímicas de las aguas termales de la hacienda posada Aguasana, Tunapuy, estado Sucre-Venezuela. Trabajo de Ascenso. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumana.
- Bendschneider, K. y Robinson, R., 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Mar. Res, 11*: 87-96.
- Benítez, J. 2007. Análisis fisicoquímico de algunas fuentes de aguas termales de las zonas de El Pilar y Tunapuy del estado Sucre. Trabajo de Ascenso. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Bullard, E. 1965. Historical introduction to terrestrial heat flow. *Geophys, 8*: 1-6.
- Cabrera, A.; Pacheco, J.; Cuevas, E.; Ramírez, J.; Comas, M. y Cámara, A. 2002. Hidrogeoquímica del agua que subyace a la Japay I, en Mérida, Yucatán, México. *Ingeniería, 6*: 29-40.
- Castro, M. 1987. *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Editorial Cepis. Perú.
- Craig, H. 1965. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. Stable isotopes in oceanographic studies and palaeotemperatures. *Hydrology, 215*:1-22.
- Custodio, E. 1983. *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega, Barcelona, España.
- Davis, S. y De Wiest, R. 1971. *Hidrogeología*. Ediciones Ariel, Barcelona, España.
- Doménico, P. y Schwartz, F. 1998. *Physical and chemical hidrogeology*. Wiley. Istanbul.

- Drever, J. 1997. *The geochemistry of natural waters:surface and groundwater environments*. Prentice-Hall, 3ªed, New Jersey, EUA.
- Duque, G. 1998. *Aguas subterráneas*. Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia.
- Fernández, A. 1999. Aprovechamiento y gestión de recursos hídricos. Ed.CYTED Argentina.
- Fridleifsson, I. 2005. Geothermal energy amongst the world's energy sources.Proceeding World Geothermal Congress. Antalya. Turkey.
- Guzmán A.; Díaz, G.; Pari, W. y Benavides, J. 2003.*Estudio hidrogeológico de las aguas termales del complejo turístico Baños del Inca y alrededores*. Dirección de geología ambiental, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Lima, Perú.
- Herraez, I. 2008. *Relaciones isotópicas, oxígeno-18 y deuterio, entre las aguas superficiales y subterráneas. Técnicas y aplicaciones multidisciplinarias de los isotopos ambientales*. UAM ediciones, Madrid.
- Ministerio del ambiente y de los recursos naturales renovables (MARNR). 1995. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Decreto N° 883. Gaceta oficial de la república de Venezuela, 5021. Extraordinario.
- Martínez, F. A. 1970. *Aguas termales de Venezuela*. Publicaciones del Rectorado. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Mook, W. 2002. *Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico, principios y aplicaciones*. Instituto Geológico y Minero de España, España.
- Murphy, J. y Riley, J. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in natural waters.*AnalyticaChimia Acta*, 27: 31–36.

- Larinov, A.K. 1979. *Hidrología recreativa*. Ed. MIR. Moscú.
- Llamas, J. 1993: *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Ed. Universidad del País Vasco. España.
- Londoño, A. 2006. *Fundamentos sobre química ambiental, "el agua"*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Lubimova, E. 1968. Thermal history of the earth. *Geophys*, 13: 63-77.
- Lund, J. W. 2005. *Geothermal direct-heat utilization*. Geo-heat Center, Oregon Institute of Technology. Klamath Fall. Oregon. USA.
- Lund, J. W. y Freeston, D. 2001. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Geothermics*, 30: 29-68.
- Organización internacional de energía atómica (OIEA) y Organización mundial de la salud (O.M.S). 1972. Evaluación de desechos radiactivos en ríos, lagos y estuarios. *Colección*, 36: 1-81.
- O'Neil, J. 1991. *Stable isotope geochemistry of rocks & minerals*. Prentice Hall. New Jersey.
- Plata, A. 2002. *Análisis hidroquímico e isotópico de las aguas subterráneas de varios acuíferos de la zona de Denia, España*. Centro de estudios y experimentación de obras públicas. España.
- Romero, J. 1999. *Calidad del agua*. 2º edición. Alfa omega. S.A, México
- Strickland, J. y Parsons, T. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167 - 203.
- Taico, J. 2005. Variación en los parámetros hidroquímicos de las aguas termales y su relación con los movimientos sísmicos en el sector la Peña y Poza Cristal del estado Sucre. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de

Oriente, Cumaná.

Treguer, P. y Le Corre, P. 1975. *Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer*. Utilization I'autoanalyzerII. Techicon. LOC-UBC. 2ed. 110.

Urbani, F. 1983. *Evaluación preliminar de los recursos geotérmicos del estado Sucre*. Centro de Documentación e Información Geotérmica Nacional (CDIGN), Departamento de Geología, Universidad de Venezuela, Caracas.

Vallejo, A. 2010. Estudio hidrogeoquímico de las fuentes de agua de la zona del Pilar, estado Sucre Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

White, D. 1957. Thermal water of volcanic origin. *Geological Society of América*, 68:1637-1658.

APÉNDICE A

Tabla A1. Comparación de las medias de los parámetros medidos de las fuentes para los dos periodos estudiados.

Parámetro	Media Lluvia	Media Seco	Diferencia
T (°C)	30,4	31,4	NS
C (µS/cm)	1229	1205	NS
STD (mg/l)	513,5	478,3	NS
pH	6,8	6,7	NS
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	437	594	S
Cl ⁻ (mg/l)	150	132	NS
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	25,52	15,29	S
Ca ²⁺ (mg/l)	212	295	NS
Na ⁺ (mg/l)	147,50	100,43	NS
K ⁺ (mg/l)	22,50	36,30	NS
Mg ⁺ (mg/l)	4,13	5,46	S
SiO ₂ (mg/l)	21,28	21,50	NS
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,511	3,676	S
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,013	0,010	NS
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,108	0,052	NS
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,180	0,033	NS
Fe ²⁺ (mg/l)	0,458	0,320	NS
Cd ²⁺ (mg/l)	0,002	0,002	NS
Pb ²⁺ (mg/l)	0,004	0,005	NS
Zn ²⁺ (mg/l)	0,022	0,049	S
Cu ²⁺ (mg/l)	0,005	0,008	NS
Mn ²⁺ (mg/l)	0,004	0,003	NS
Ni ²⁺ (mg/l)	0,011	0,013	NS

S: Significativo

NS: No Significativo

Tabla A2. Contraste múltiple de rango para la temperatura según estaciones

Estaciones	Media	Rango	Grupos homogéneos
4	29,2	4,4	X
5	29,3	0,0	X
10	29,7	0,5	XX
8	31,0	2,3	XX
3	31,4	5,3	XX
1	32,2	0,6	X
9	32,3	0,1	X

Tabla A3. Contraste múltiple de rango para la STD según estaciones.

Estaciones	Media	Rango	Grupos homogéneos
3	420,25	298,00	X
8	473,33	110,00	XX
10	477,00	106,00	XX
9	484,67	111,00	XX
1	500,50	109,00	XX
4	566,33	59,00	XX
5	605,00	50,00	X

Tabla A4. Contraste múltiple de rango para los pH según estaciones

Estaciones	Media	Rango	Grupos homogéneos
1	6,52	0,53	X
9	6,65	0,19	XX
3	6,78	0,60	XX
5	6,78	0,07	XX
10	6,82	0,15	XX
8	6,84	0,26	XX
4	6,87	0,18	X

Tabla A5. Contraste múltiple de rango para los iones cloruro según estaciones.

Estaciones	Media	Rango	Grupos homogéneos
3	115,59	47,33	X
10	127,16	27,82	X
9	130,66	34,90	X
1	131,56	24,75	X
8	136,37	42,41	X
5	187,08	15,44	X
4	187,68	74,67	X

Estaciones	Media	Rango	Grupos homogéneos
8	0,1391	0,0781	X
5	0,2230	0,0490	X
1	0,2340	0,0306	X
3	0,2440	0,2766	X
10	0,5578	0,1402	X
9	0,7169	0,2858	XX
4	0,8609	0,5758	X

Tabla 6. Contraste múltiple de rango para el hierro según estaciones.

APÉNDICE B

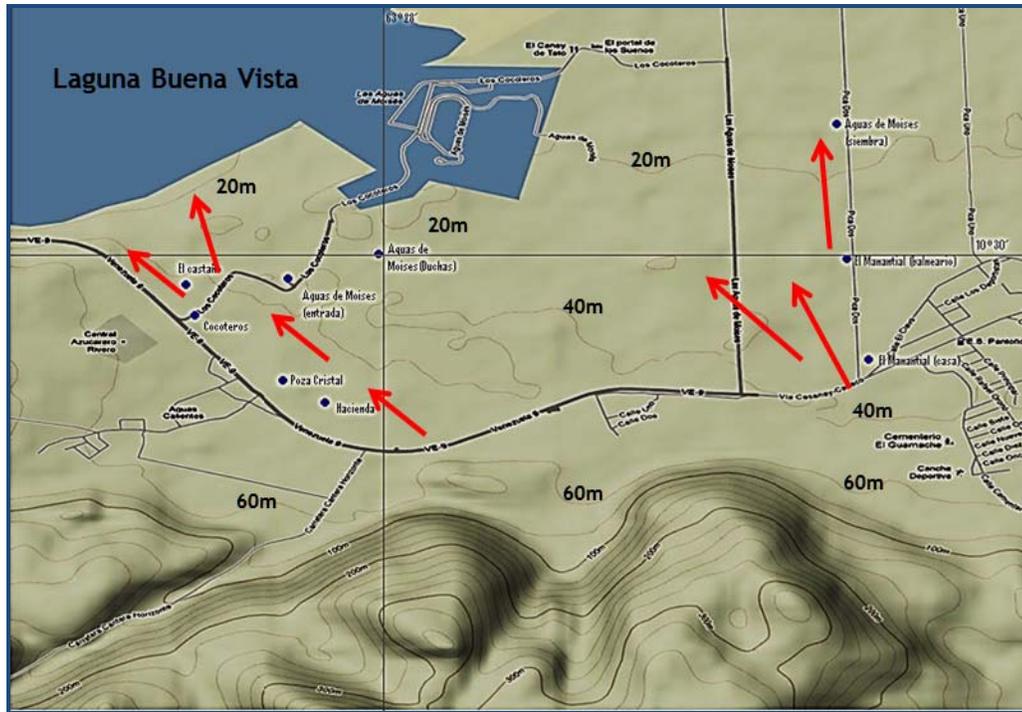


Figura B1. Mapa de las fuentes de aguas de la región Cariaco y su posible recorrido.

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	Hirogeoquímica de las aguas de Cariaco, estado Sucre, Venezuela
---------------	---

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
López S., Mariceli C	CVLAC	11.731.945
	e-mail	marc_lops@yahoo.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Hidrogenoquímica
Agua
Isotopos

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

Resumen:

Se realizaron estudios hidrogeoquímicos a once pozas en la región de Cariaco en periodos de lluvia y sequía. Se determinaron in situ parámetros fisicoquímicos, tales como: temperatura, pH, conductividad y sólidos totales disueltos. Según la temperatura medida, las aguas son de tipo hipotermales, que varían entre 26,3 y 33,6°C. El pH arrojó que son aguas de tipo neutras, donde sus valores fluctúan desde 6,27 a 7,19. Poseen moderada mineralización, con conductividades desde 280 a 1507 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con sólidos totales disueltos hasta 630 mg/l. El estudio aniónico indicó la siguiente secuencia $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ y el catiónico $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, indicando que estas aguas son de tipo bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas. Además, se realizó estudio de SiO_2 , obteniéndose valores desde 7,56 a 44,54 mg/l. No se detectó contaminación por nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-} y NO_3^-), debido a que se obtuvieron valores bajos de estos componentes. Entre los metales trazas estudiados: Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} y Cu^{2+} , sólo se destaca el Fe^{2+} con una concentración máxima de 1,11 mg/l mientras que los otros no sobrepasan de 0,01 mg/l. Por último se realizaron análisis isotópicos y se determinó la presencia de los isotopos estables oxígeno-18 (^{18}O) y deuterio (^2H), donde, se mostró que son aguas debido a evaporación, ya que la recta meteórica local tiene tendencia a este tipo de agua.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Mostue, MajBritt	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	11.681275
	e-mail	mmostue@yahoo.no
	e-mail	
Aranda, Sheyla	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	18.933.679
	e-mail	sheylaisabel@hotmail.com
	e-mail	
Martinez, Gregorio	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2012	11	26
------	----	----

Lenguaje: Spa _____

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TESIS-lopezm.DOC	Aplication/word

Alcance:

Espacial: NACIONAL (Opcional)

Temporal: TEMPORAL (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciada en Química_____

Nivel Asociado con el Trabajo: LICENCIADA

Área de Estudio: QUÍMICA

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda ***SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009***.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

RECIBIDO POR [Firma]

FECHA 5/8/09 HORA 5:30

JUAN A. BOLANOS CUMPELO
Secretario

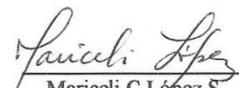
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

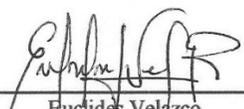
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización".


Mariceli C López S
AUTOR


May Britt Mostue
TUTOR


Euclides Velazco
POR LA COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO