

# CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LAS FUENTES DE AGUAS TERMALES DEL ESTADO TRUJILLO – VENEZUELA

HIDROGEOCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF THERMAL WATERS SOURCES OF TRUJILLO STATE – VENEZUELA

+C. MORENO, J. C. DÍAZ, H. CARABALLO, K. CHACÓN, J. G. BAPTISTA.

Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Biología y Química,  
Núcleo Universitario “Rafael Rangel”, Universidad de Los Andes,  
Código Postal Trujillo 3102, Venezuela.

## Resumen

En el presente estudio, se caracterizaron las fuentes hidrotermales del estado Trujillo, considerando la variabilidad espacial de los parámetros físico-químicos de las sus interrelaciones. Se estudiaron once (11) fuentes termales de las quince (15) reportadas en el estado (Urbani, 1991 y Carillo *et al.*, 1995), evaluando parámetros físicos y químicos, tales como la temperatura de emergencia de la fuente, aspecto, olor, sabor, caudal, mineralización, dureza, entre otros, y las concentraciones iónicas de metales y aniones mas importantes en la caracterización de aguas subterráneas; permitiendo clasificarlas, en cuanto a su composición química y termalismo. Además se realizaron análisis bacteriológicos, donde se determinó el NMP de coliformes fecales y totales. Los iones metálicos en las muestras de agua fueron analizados por espectrometría de Absorción Atómica y los aniones fueron determinados según Standard Methods (1998). El rango de temperaturas de las fuentes estuvo comprendido entre 27°C y 80°C, considerándose la Fuente de Río Arriba como hipotermal, la Fuente de Chejendé mesotermal y las demás estudiadas como hipertermales, según la temperatura de emergencia de las fuentes. Los estudios hidrogeoquímicos realizados ponen de manifiesto tres familias de aguas diferentes: Agua bicarbonatada sódica, agua bicarbonatada sódica y cálcica y agua bicarbonatada sulfatada sódica. Las fuentes con mayor contenido mineral son la de Agua Viva y Río Arriba. Los resultados preliminares permitieron concluir que en el estado Trujillo se tienen fuentes termales mineralizadas que tienen la posibilidad de ser explotadas para consumo humano (envasado) y doméstico además de fines recreativos y de esparcimiento que promuevan el desarrollo económico y social de los sectores donde emergen estas fuentes.

---

Palabras clave: *Hidrogeoquímica, Aguas termales, balneoterapia, aguas minerales, termalismo*

---

---

Recibido: 12/06/2008

Aprobado: 13-06-2008

## Abstract

In the present study, the sources characterized hydrothermal of the Trujillo state, considering the spatial variability of the parameters physical and chemical and your interrelationships. There were studied eleven (11) thermal springs of the fifteen (15) reported ones in the state (Urbani, 1991 and Carrillo, et al, 1995), evaluating physical and chemical, such parameters as the emergency temperature of the source, aspect, smell, flavor, wealth, mineralization, hardness between others and the ionic concentrations of metals and anions more importantly in the characterization of underground waters, allowing to classify them, as your chemical composition and thermals. In addition bacteriological analyses were realized, where the NMP decided of Coliformes fecal and total. The metallic ions in the water samples were analyzed by spectrometry of Atomic Absorption and the anions were determined according to Standard Methods (1998). The range of temperatures of the sources was included between 27°C and 80°C, being considered to be the source Río Arriba like hypothermal, the source of Chejendé mesothermal and other studied ones like hyperthermal, according to the emergency temperature of the sources. The studies hidrogeochemical realized reveal three families of different waters: It waters bicarbonate sodium, waters bicarbonate sodium and calcic and waters bicarbonate sulfate sodium. The sources with major mineral content are that of Agua Viva y Río Arriba. The preliminary results allowed to conclude that in the Trujillo state thermal springs have minerals that have the possibility of being exploited for human and domestic consumption besides recreative purposes and scattering that promote the economic and social development of the sectors where they emerge these sources.

---

**Key Words:** Hidrogeochemistry, thermal waters, spatherapy, mineral waters, thermals.

---

### **Introducción**

Las *Fuentes de Aguas Termales* hoy día, benefician diversas comunidades en el mundo, gracias a sus características terapéuticas, recreacionales, así como la de brindar agua potable (envasada) o para uso doméstico, una vez realizado un pretratamiento "sencillo". En el estado Trujillo se han reportado diversas fuentes termales potencialmente explotables en alguno de los ámbitos mencionados. Por ello fue necesario reconocer, identificar, caracterizar y evaluar desde el punto de vista hidrogeoquímico las aguas termales del estado. Ante la importancia que tiene la utilización de las aguas minerales desde el punto de vista de salud pública y el potencial económico

y social a nivel regional como nacional, se planteó la conveniencia de efectuar un estudio sobre este tipo de aguas, que permita reconocer los recursos hídricos subterráneos disponibles y clasificarlos oficialmente como aguas "minerales" aquellas que por sus características físico-químicas pudieran ser susceptibles de serlo o simplemente de uso doméstico. El estudio que se llevó a cabo tuvo como objetivos principales: Evaluar el potencial hidrotermal del Estado Trujillo, valorar la situación actual y analizar las posibilidades de expansión del sector mineral y termal. Además, en el presente estudio se analizó la variabilidad espacial de los parámetros físico-químicos de las aguas termales y sus interrelaciones en el período de estudio.

### **Área de Estudio.**

Las Fuentes termales en estudio se encuentran ubicadas en diferentes municipios del estado Trujillo: Boconó, Miranda, Cabimbú, Candelaria, Motatán y Trujillo. El estado Trujillo se encuentra ubicado en la parte occidental de Venezuela, al norte de La Cordillera Andina, en el sitio de contacto con los Llanos Occidentales. Se localiza entre las coordenadas geográficas de sus puntos cardinales extremos: Norte (09°57'18") de Latitud Norte y (70°32'40") de Longitud Oeste; Este (09°40'42") de Latitud Norte y (69°59'26") de Longitud Oeste; Sur (08°57'14") de Latitud Norte y (70°32'48") de Longitud Oeste; y por el Oeste (09°45'14") de Latitud Norte (71°02'40") de longitud oeste. Limitando al Norte con los estados Zulia y Lara, por el Este con los estados Lara y Portuguesa, por el sur con los estados Barinas, Mérida y Zulia (ver Figura 1).

### **Marco Hidrogeológico.**

En la Fuente Termal *El Baño (Motatán)* afloran materiales que corresponden a la Formación Paují, donde la falla de Valera las pone en contacto con las rocas de la Formación Misoa (Ambas del Eoceno). En las fuentes termales de *Agua Viva*, las rocas aflorantes son de la formación Misoa (Eoceno), esta fuente termal brota justamente en la traza de la Falla de Valera que está en esta zona y pone en contacto a las Formaciones El Paují al este, y Misoa al oeste (Ambas del Eoceno). En la fuente termal de *Agua Santa* afloran rocas de la formación Misoa, esta falla es subparalela a la falla de Valera. En la zona de la manifestación, afloran rocas de la formación Betijoque, miembro Vichú (Mioceno – Paleoceno). Las fuentes termales de *Tostós*, *Tirandá* y *Río Arriba* se ubican en la traza activa de la Falla de

Boconó. La fuente termal de *Chejendé* está en una zona muy complicada geológicamente, con numerosas fallas, que subdividen la zona en cuñas, donde afloran rocas del Cretáceo y el Terciario. La fuente está sobre la traza de una falla, que pone en contacto a las formaciones El Paují, al oeste y Aguardiente al este. (Urbani, 1991).

### **Fuentes termales**

En las Tablas I, II y III, se resumen las características geográficas, físicas y químicas de las fuentes termales estudiadas, respectivamente. En la Figura 1, se muestra la ubicación de las fuentes en el estado Trujillo – Venezuela.

### **Metodología**

#### **Sitios de Captación de muestras**

La recolección de las muestras de agua se realizó justo en el punto de emergencia, de cada una de las fuentes termales. Se tomaron muestras desde mayo a septiembre de 1998. Todas las muestras fueron tomadas en horas de la mañana, sin la presencia de precipitación. Para cada fuente se tomaron tres muestras. La toma de muestra de agua se llevó a cabo utilizando un envase de 15 litros de capacidad y luego se traspasaron a envases preparados según las recomendaciones de la metodología empleada para cada parámetro a determinar. Todos los muestreos se llevaron a cabo a la misma hora del día, para mantener la uniformidad y homogeneidad en los mismos (Australian Standards, 1998). Para la determinación de coliformes totales y fecales, las muestras se recogieron en frascos de vidrio esterilizados, con tapa de bakelita, de 125 mL de capacidad y trasladadas en refrigeración hasta el momento de la

inoculación, el mismo día de la recolección de la muestra.

#### **Análisis de Muestras**

La *temperatura* fue medida *in situ* con un termómetro de mercurio con precisión de 1 °C; el *pH* se determinó en el campo con un potenciómetro Corning modelo 610 A. La *conductividad* fue determinada *in situ* con un conductímetro de campo HACH. La ubicación espacial de los puntos de emergencia se obtuvo de información suministrada de la dirección de Ambiente del Estado Trujillo (Anónimo, 1993).

Todos los análisis químicos en la determinación de cationes y aniones se realizaron según *Standards Methods for Examination of Water and Waste Water 20 th Edición*.

Todas las medidas colorimétricas fueron realizadas en un Spectronic 20 (Baush & Lomb) con precisión  $\pm 0.01$ , usando celdas de cuarzo. Para el análisis de los *metales* se utilizó la técnica de espectrometría de Absorción Atómica (Atomic Absorption with electrothermal atomization, Pye Unicam SP9-01). La determinación de cada uno de los *elementos metálicos* ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ) se hizo usando una llama de óxido nitroso/acetileno, en las cantidades estipuladas por el equipo; de igual manera las curvas de calibración. El *hierro reducido* a estado ferroso se determinó colorimétricamente utilizando la coloración roja dada por las sales ferrosas con el  $\alpha$ ,  $\alpha'$  - dipirilo (Barcelo, 1954). Los análisis bacteriológicos fueron realizados según el método de determinación del número más probable de bacterias coliformes, del Compendium of methods for microbiological of food.

#### **Resultados y discusión.**

#### **Propiedades Organolépticas.**

Todas las fuentes termales se observaron transparentes. El sabor de estas fue insípido en general, salvo la fuente AV<sub>1</sub> que presentó sabor astringente. En cuanto al olor, se apreció que dos fuentes eran inodoras (AV<sub>1</sub> y Chejendé) y en el resto de las fuentes estudiadas se sintió fuerte olor a H<sub>2</sub>S (Ver Tabla II).

#### **Temperatura**

Todas las fuentes se pueden clasificar como termales<sup>1</sup>, aun cuando la fuente de AV<sub>1</sub> esta cerca de ser agua termominera (STD  $\geq 1\text{g/L}$ ). El rango de temperatura del punto de emergencia tiene variaciones importantes en las diversas fuentes, siendo la de mayor temperatura la fuente AV<sub>2</sub> (80 °C) y la de menor temperatura la fuente de Río Arriba (27 °C). Las fuentes de agua se clasificaron de acuerdo a la temperatura, en: hipotermas: 21 - 30 °C, mesotermas: 31 - 40 °C, hipotermas: > 40 °C (Ver Tabla II).

En la Figura 1, se observan tres regiones: la región de fuentes hipotermas, que contiene nueve (9) fuentes, con temperaturas por encima de 40 °C, con una temperatura máxima de 80 °C, con puntos de emergencia a diversas alturas sobre el nivel del mar (Tabla I). Otra región, mesotermal, que incluye a la fuente de Chejendé y una región hipotermal, que contiene a la fuente de Río Arriba.

<sup>1</sup> Temperatura en su punto de emergencia mayor que la temperatura media anual local, Urbani, 1991

### **Conductividad**

La conductividad mostró valores entre 165 y 1000  $\mu\text{ohms/cm}$ . Según la Figura 2, se observa una relación inversa de conductividad con la altura, de igual forma con los sólidos totales disueltos. La conductividad aumenta conforme aumenta los sólidos totales disueltos, como consecuencia del aumento de electrolitos en solución. Estos cambios en la conductividad y STD, son consecuencia de la naturaleza hidrogeoquímica, la temperatura de los acuíferos y en menor grado de la permeabilización de estos, con aguas superficiales. Los acuíferos de aguas subterráneas, son surtidos por las aguas de la superficie que se permean a través del suelo, siendo los más susceptibles, aquellos que están por debajo de grandes cuencas o valles. Los acuíferos que no tienen esta posibilidad son aquellos que por su situación geográfica no se alimentan de las aguas superficiales (Murcias, 1976). Lo que sugiere que las fuentes cuyos puntos de emergencia están a menor altura pueden ser alimentadas por aguas superficiales que arrastran gran cantidad de electrolitos hasta ser depositadas en los acuíferos subterráneos, a diferencia de las otras, que muestran su punto de emergencia a mayor altura.

### **pH.**

Los altos valores en la escala de pH medidos (Tabla II), están estrechamente relacionados con la naturaleza química de las fuentes de aguas. Los iones que determinan el pH de las aguas de estas fuentes básicamente son el bicarbonato, carbonato, calcio, fosfato, y magnesio siendo estos dos últimos de menor importancia por tener concentraciones muy bajas.

El ión más abundante es el bicarbonato y que determina en alto grado la acidez de los acuíferos. Por su naturaleza química este es mucho más susceptible a hidrolizar, por lo que se esperaría pH más básicos como los que muestra la fuente de Tirandá (10). Pero se observan pH ácidos o ligeramente básicos en las Fuentes AV<sub>1</sub>, AV<sub>2</sub>, Chejendé, Río Arriba, B<sub>2</sub> y Valerita, que son consecuencia de los equilibrios que se establecen por la presencia del ácido sulfhídrico (y sus derivados de oxidación: sulfatos y sulfitos). Este gas se oxida al mezclarse con las aguas subterráneas más frías generando manantiales ligeramente ácidos (Esta acidez hace más corrosiva las fuentes que permite disolver continuamente las rocas circundantes y en consecuencia aumentar la turbidez, la presencia de sólidos disueltos y en muchos casos la presencia de sílice coloidal (Murcias, 1976)).

El caso de la Fuente de Agua Santa, Tirandá y en menor proporción AV<sub>1</sub> (entre 10.1 % hasta 10.6 % de CO<sub>3</sub><sup>=</sup>) difiere de lo anterior, por la importante presencia de carbonato libre, que puede hidrolizar (Ver Tablas IV y V) (Kolthoff, 1979).

### **Caudal**

Las fuentes del estado poseen diversos caudales, siendo los más importantes las fuentes B<sub>1</sub>, AV<sub>2</sub> y Valerita, con caudales por encima de 4.00 L/seg; y el de menor importancia la Fuente de Cabimbú. La fuente B<sub>1</sub> es resultado de una perforación de la explotación petrolera, que permite que el agua emerja con mayor facilidad desde su acuífero. En la actualidad esta fuente, junto con la B<sub>2</sub> (3.5 L/seg), están siendo explotadas: para el envasado como agua mineral y para el disfrute y esparcimiento en áreas de recreación (Tabla II).

### **Análisis Biológicos de las Fuentes Termales**

Los análisis biológicos mostraron que el NMP de coliformes totales y fecales esta muy por debajo del limite exigido por la normativa nacional vigente (Decreto 883, Gaceta Oficial Venezolana) para agua subtipo 4A<sup>2</sup> (<150 NMP).

#### *Geotermometría e indicadores geotérmicos.*

Las técnicas geotermométricas permiten estimar la temperatura del equilibrio del agua en su acuífero de origen, en base a su composición química después de su salida hasta la superficie o acuíferos someros (Murcias, 1976 y Cruz, 2006). Para la fuente Termal B<sub>1</sub> (Artificial), se realizó un análisis geotermométrico, donde se hizo una perforación que alcanzó aproximadamente 3500 metros de profundidad. De este pozo se obtuvo un registro térmico y temperaturas de fondo tomadas con varios días de intervalo para su equilibrio con una temperatura máxima de 102 °C, con lo cual se estimó el gradiente geotérmico de 2.2 °C/100m (Urbani, 1991). Es difícil especular sobre la profundidad de los demás acuíferos (sin datos de un geotermómetro), con certeza, pero basados en el gradiente geotérmico observado en el acuífero B<sub>1</sub> (bajo la suposición de que se tienen suelos similares, desde el punto de vista geológico), se puede sugerir que las fuentes hipertermales tienen profundidades mayores a los 3500 metros, las fuentes mesótermales con profundidades de los acuíferos entre 2500 y 3000 m y las hipótermales menores a 2500 m.

Como indicador geotérmico se analizó el contenido de litio, ya que este elemento posee una elevada movilidad geotérmica (Mateos *et al.*, 2002), por lo que las aguas termales y los flujos regionales de circulación

profunda se encuentran enriquecidos de este elemento (Sánchez *et al.*, 2001). Existe una clara relación entre el contenido del litio y la temperatura, tal y como se muestra en la Figura 3. El elevado contenido de litio de las aguas termales de la zona avala la idea de una circulación lenta en el acuífero profundo, con un amplio tiempo de contacto agua - roca a elevada temperatura.

Otro indicador geotérmico es la sílice coloidal. Cuando se tienen fuentes de agua provenientes de acuíferos profundos la elevada temperatura del agua permite la disolución y arrastre de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) al paso por las capas de las rocas (Verma, 2000). Es por ello, que la Figura 3, muestra mayor concentración de sílice para fuentes cuya temperatura de emergencia es mayor, lo que ratifica la profundidad de las mismas.

#### **Familias de Agua.**

El tipo de agua se define por todos los constituyentes iónicos que contribuyen desde el punto de vista aniónico y catiónico en un 20 % de su composición (Gross, 2002). En la tabla IV y V y en la Figura 4, se muestran los resultados de los análisis químicos realizados a todas las fuentes termales. Los resultados fueron expresados en mg/L (ppm) con el fin de hacer sencilla su clasificación. Se pudieron establecer las siguientes Familias:

Aguas bicarbonatadas sódica baja en calcio (Agua Santa).

Aguas bicarbonatadas sódica baja en calcio y en cloruros (AV<sub>1</sub> y AV<sub>2</sub>).

Aguas bicarbonatadas sódica baja en sulfatos (Cabimbú y Mesa de Aguas Claras).

Aguas bicarbonatadas sódicas y cálcicas (Chejendé, Valerita, Río Arriba, B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>).

<sup>2</sup> Agua para el contacto humano total (Gaceta Oficial de Venezuela 5021 (1995), Decreto 883)

Aguas bicarbonatadas sulfatadas sódica (Tirandá).

En general, siendo más estrictos con la clasificación de las aguas subterráneas, se puede hablar de tres tipos de fuentes termales para el Estado Trujillo:

Aguas Bicarbonatadas Sódicas  
 Agua Bicarbonatada Sódica y Cálcida  
 Aguas Bicarbonatada Sulfatada Sódica

La Figura 4, demuestra que los iones más relevantes, para la clasificación según su composición, están determinados por los iones sodio, calcio, bicarbonato y sulfato con concentraciones bajas de potasio y cloro. Estos últimos no se representan con certeza en este gráfico ya que la concentración de los mismos dependen de la sumatoria de los iones menos representativos de cationes y aniones del balance iónico de las fuentes<sup>3</sup>, en consonancia a lo que muestran las tabla IV y V.

Las fuentes de agua según su composición están representadas espacialmente en tres grandes regiones en la Figura 1. Aun cuando las propiedades físicas, en cada región, no son similares del todo, su composición química es relativamente parecida. Estas características sugieren en que cada región tiene acuíferos con formaciones geológicas similares en cuanto a su constitución. La fuente de Tirandá está calificada

<sup>3</sup> Cada lado del triángulo es una cantidad relativa de uno de los tres iones principales (cationes y aniones) expresado en porcentaje (%), pero la cantidad relativa de solo dos constituyentes es representada según los datos mostrados en la tabla IV y V, la diferencia es mostrada como porcentaje de un tercer ión minoritario: para los cationes es el potasio ( $K^+$ ), y para los aniones el ión cloruro ( $Cl^-$ ), que representan la suma de los demás iones menos importantes, en cuanto a composición, de cada fuente termal estudiada.

como bicarbonatada sulfatada sódica que explica la diferencia de pH de esta fuente con las demás, ya que los equilibrios químicos que se presentan con la alta concentración de sulfatos e ión calcio modifican sustancialmente el pH de ésta fuente de agua. En la Tabla VI, muestra la clasificación de las Fuentes según su composición hidrogeoquímica.

#### *Relación entre algunos parámetros y la temperatura*

El establecer las principales familias de aguas presentes en el Estado, permite priorizar los iones que determinan su condición hidrogeoquímica; en este caso fueron los iones: bicarbonato, sulfato, cloruro, sodio y calcio, junto con el nitrato. Se estudió como variaban los mismos con la temperatura. Esto se muestra en las Figura 5<sup>4</sup>.

Para el ión bicarbonato no se observa una tendencia marcada con la temperatura de emisión de la fuente, puesto que hay variaciones importantes de su concentración a las diversas temperaturas. Debe destacarse que el ion bicarbonato presenta concentraciones importantes que lo hace, en general, el electrolito más abundante en todas las fuentes analizadas. El ión sulfato (Figura 5A); muestra una disminución relativa de la concentración en función de la temperatura de emisión de la fuente, lo que sugiere que estos iones están presente en los acuíferos a menor profundidad (Chae, *et al*, 2006), que son consecuencia de la oxidación en aguas más frías del ácido sulfídrico. En contraste con el resultado anterior, los iones carbonato (Figura 5A), cloruro (Figura 5B) y nitrato (Figura 5B) aumentan su concentración con la temperatura en el punto de

<sup>4</sup> Todos los gráficos fueron realizados con el software Microcal Origin 6.1. Todas las líneas de tendencias se obtuvieron haciendo un ajuste polinomial fit de orden 2 y 3.

emergencia, indicando que estos iones están presentes en acuíferos con mayor profundidad y son consecuencia las interacciones a elevada temperatura entre la roca y el agua subterránea, con un amplio tiempo de contacto. El aumento de la concentración del ión nitrato no era el esperado, pues con frecuencia este tiene mayor concentración para aguas más frías (Mateos *et al.*, 2002) por lo que se considera que este resultado deriva de contaminación superficial. En cuanto a los cationes no se observaron cambios apreciables, que sugiere que la composición de estos es similar en las diversas profundidades para los acuíferos aquí estudiados.

### **Análisis de las Fuentes Hidrotermales**

#### **Fuente de Agua Santa.**

En cuanto a la temperatura de la fuente termal se puede clasificar la fuente de Agua Santa como hipertermal. La temperatura moderadamente alta encontrada en la fuente (54 °C) y el contenido de cloruro (0.11 mg Cl/L) en cantidad no equivalente e inferior al sodio (2.21 mg Na/L), indican que gran parte del agua de esta fuente proviene probablemente de mantos acuíferos profundos. Así mismo, se le puede clasificar como agua bicarbonatada sódica baja en calcio (18.8 %). En la Tabla III se observa que el contenido mineral de esta fuente es medio-bajo (256 ppm), pero está dentro de los límites para ser usada como agua mineral luego de un tratamiento previo de aireación para eliminar el sulfuro de la misma. Es importante señalar que esta fuente, por estar ubicada al margen de la carretera Panamericana el Vigía - Agua Viva se podría emplear para explotación turística, ya que los márgenes de la fuente están cubiertas de vegetación arbórea exuberante,

todo ello conforma una zona de gran belleza que sumado a la tranquilidad reinante son de gran potencial para el ecoturismo.

#### **Fuente de Agua Viva.**

La Fuente de Agua Viva está constituida por dos puntos de emergencia (AV<sub>1</sub> y AV<sub>2</sub>) y ambas son fuentes hipertermales. Estas fuentes tienen una marcada diferencia en su temperatura de emergencia, lo que hace suponer que la fuente AV<sub>1</sub> (>3000 m) emerge de un acuífero de menor profundidad que la fuente AV<sub>2</sub> (>3500 m), si se toma en cuenta el gradiente térmico. Estas fuentes se pueden calificar como del tipo bicarbonatada sódica, con concentraciones, aun cuando bajas, son importantes de en cuanto a ion calcio (14%) e ion cloruro (13%). La mineralización de estas fuentes es semejante, con valores relativamente altos y con muy alta concentración de sólidos disueltos, características estas propias de aguas minerales que pueden ser envasadas, lo que representaría un aporte económico, muy importante, para la región. Además, la adecuada ubicación de estas fuentes puede permitir el desarrollo de un complejo turístico con fines recreacionales y de esparcimiento.

#### **Fuente de Cabimbú**

La temperatura del agua en su nacimiento es de 66 °C, que supera en 54 °C la temperatura media anual. En base a esta temperatura la fuente de Cabimbú se puede clasificar dentro del tipo de agua subterránea hipertermal. Esta fuente desde el punto de vista químico se puede calificar como agua bicarbonatada sódica, baja en sulfatos (15.6 %) lo que hace que su pH sea más alcalino (9.8) que otras fuentes exceptuando la



de Tirandá. Esta fuente posee el más bajo contenido mineral (134.62 mg/L) y con la más baja dureza de todas las fuentes (10.79 mg CaCO<sub>3</sub>/L). Por otra parte, la fuente gracias a su baja mineralización y aunado a su bajo caudal carece de importancia económica, pero se adecua para la recreación de los foráneos, puesto que el lugar donde aflora la fuente está conformado por un paisaje apropiado para el esparcimiento y disfrute con una temperatura ambiente media anual de 12 °C que hace muy atractivo visitar este lugar.

*Fuente de Chejendé.*

En cuanto a la temperatura se le puede clasificar como mesotermal, ya que la temperatura en el punto de emergencia oscila entre 21 y 30 °C. Desde el punto de vista químico se puede clasificar como agua bicarbonatada sódica y cálcica baja en sulfatos (10%). La concentración de calcio a diferencia de las anteriores es bastante alta (45.1%), junto con la fuente termal de Río Arriba, lo que las hace las fuentes con mayor dureza de las analizadas. Esta fuente presenta una alta concentración de sólidos disueltos totales (415 mg/L) con un pH ligeramente alcalino (7.4). En lo que respecta al contenido de sales disueltas en el agua, ésta muestra una concentración relativa de 384.72 mg/L, lo que la hace ligeramente mineralizada. Es importante mencionar que junto con esta alta mineralización se observa la mayor concentración de sólidos totales (580 mg/L). Esta fuente ofrece mucho potencial, aun cuando su caudal sea bajo (0.5 L/seg), para ser usada como agua de consumo humano (envasada). En la actualidad, en el lugar donde aflora la fuente, no existe ningún tipo de instalaciones apropiadas que permitan hacer uso adecuado de la misma. Sin embargo, mejorando las condiciones de acceso es posible hacer un uso sustentable

de este recurso, lo que permita explotar la misma.

***Fuente Termal Río Arriba.***

La temperatura de la fuente en su punto de afloramiento es de 27°C que difiere en solo 4°C, con la temperatura media anual del lugar. Esto permite clasificarla en cuanto a la temperatura como una fuente hipotermal, esto sugiere, que ésta debe tener su origen en mantos acuíferos poco profundos, considerando el gradiente térmico. En cuanto a su composición química se puede clasificar como agua bicarbonatada sódica y cálcica muy baja en sulfato (7.8%), con un pH ligeramente ácido (6.4) y una alta concentración de sólidos disueltos (417 mg/L). Junto con AV<sub>1</sub>, presenta la mayor mineralización (450.40 mg/L) y con una dureza relativamente alta comparada a las otras fuentes estudiadas, gracias a la alta concentración de calcio que presenta esta fuente. La fuente posee una concentración ligeramente alta de sulfuro, que se manifiesta en un fuerte olor en el punto de emergencia de la misma. Por otra parte, el contenido mineralógico moderado de esta agua la hace apta para emplearla como agua para consumo humano (envasada). Actualmente, la fuente no dispone de ningún tipo de infraestructura que permita el uso de la misma.

***Fuente Termal Mesa de Aguas Claras.***

La temperatura de la fuente en su punto de afloramiento es de 41 °C que difiere en 23 °C, con la temperatura media anual del lugar. Esta fuente puede ser calificada como una fuente hipertermal. Es probable que esta tenga su origen en mantos acuíferos de mediana profundidad (>

3000 m), considerando el gradiente térmico. En cuanto a su composición química se puede clasificar como agua bicarbonatada sódica baja en sulfato (17.4%), con un pH alcalino (8.9) con una baja mineralización. El manantial de Aguas Claras es de poca importancia, en cuanto a su aprovechamiento, ya que muestra un bajo contenido mineral aunado al caudal más bajo de todas las fuentes estudiadas y la inaccesibilidad del área por lo accidentado de su topografía que la hace poco atractivo para su explotación.

#### ***Fuente Termal de Motatán B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>.***

La temperatura para la fuente artificial y la natural son 56 y 50 °C, respectivamente, con características muy similares, lo que sugiere que estos manantiales provienen de acuíferos cercanos entre si y cuyas profundidades de asentamiento deben tener un origen en capas geológicas profundas (aproximadamente 3500 m). Con base en las temperaturas de su sitio de emergencia, éstas pueden ser consideradas como aguas subterráneas hipertermales, con un gradiente térmico de 2.2 °C/100 m (muy cercano al reportado para la mayoría de las zonas del planeta en las que no se tienen anomalías térmicas de 25 a 35 °C/km). Dada su composición química se les puede calificar a ambas como fuentes del tipo bicarbonatada sódica y cálcica con concentraciones relativamente altas de sulfuros y con un pH alcalino. En cuanto a su contenido mineral, es mediano (270 mg/L), pero con caudales importantes para ambas fuentes. Esto último las hace las fuentes mas importantes del estado, que desde hace unos años están siendo explotadas para su envasado (planta embotelladora), suministro doméstico y con fines recreacionales que ha impactado a la localidad

positivamente con la construcción de un hotel aledaño que se surte con éstas aguas y sirven para el esparcimiento dentro de sus instalaciones.

#### ***Fuente Termal de Tirandá.***

La temperatura de la fuente en su punto de afloramiento es de 39°C que difiere en 17°C, con la temperatura media anual del lugar, esto permite clasificarla en cuanto a la temperatura como una fuente mesotermal. Por su composición química se puede clasificar como agua bicarbonatada sulfatada sódica, con el pH más alto (10) de todas las fuentes, debido a la alta concentración de bicarbonatos. Esta fuente muestra muy baja dureza, característica poco frecuente para las aguas subterráneas. Tiene un contenido mineral medio-bajo (muy baja dureza). Dadas sus características químicas y lo accidentado del lugar donde emerge ésta fuente es de poco atractivo su explotación; pero si para el disfrute de los foráneos como balneoterapia.

#### ***Fuente Termal de Valerita.***

La temperatura de la fuente en su punto de afloramiento es de 66°C que dobla a la temperatura media anual del lugar, por lo que se le clasifica como una fuente hipertermal. En cuanto a su composición química se puede clasificar como agua bicarbonatada sulfatada sódica y cálcica, baja en potasio, con el pH ligeramente básico (7.4). Tiene un contenido mineral y dureza baja. Esta agua es muy transparente, debido a la poca presencia de materiales en suspensión. El caudal de esta fuente es importante (4.5 L/seg). Este contenido mineral la hace apta para el consumo doméstico, ya que dicho valor mineralógico se adecua con lo

sugerido por la Organización Mundial de la Salud (Anon, 1993-[http://www.int/water\\_sanitation\\_health/water\\_quality/drinkingwat.htm](http://www.int/water_sanitation_health/water_quality/drinkingwat.htm)) para abastecimiento de agua doméstica. Por éstas características y sus usos preliminares, la fuente se podría aprovechar para darle un destino racional, unido a las peculiaridades del área y su fácil acceso, permitirían desarrollar asentamientos turísticos con fines de diversión y esparcimiento.

### **Conclusiones**

Dentro del Estado se presentan una gran cantidad de acuíferos con temperaturas que van desde 27°C (hipotermiales) hasta 80°C (hipertermiales). Los pozos de mayor temperatura se alinean en la dirección norte sur - sur este ( $T > 40^{\circ}\text{C}$ ). Los pozos de menor temperatura (meso e hipotérmicos) se ubican en el centro al nor-oeste del Estado. Las temperaturas de los pozos y el gradiente geotérmico observado en el pozo B<sub>1</sub> sugiere que los acuíferos son profundos (bajo la suposición de que la composición de los suelos es mas o menos uniforme), siendo los de menor profundidad, probablemente, los de las fuentes de Río Arriba y Tirandá. La profundidad de las fuentes de la región fue puesta en evidencia por algunos indicadores geotérmicos (litio y sílice), que sugieren un largo tiempo de contacto agua-roca en los acuíferos profundos de mayor temperatura, origen del termalismo.

De acuerdo a su naturaleza hidrogeoquímica las aguas se clasificaron en tres grupos: agua bicarbonatada sódica, agua bicarbonatada sódica y cálcica y agua bicarbonatada sulfatada sódica. En las mismas se observaron diferencias en pH, con respecto a los valores esperados (alcalinos), que se atribuyen a los equilibrios de los

principales iones y la condensación de los gases que emiten las fuentes y su posterior oxidación. Las fuentes de agua bicarbonatada sódica están ubicadas en una franja desde el norte hasta el sur - este de la región. Las fuentes de agua bicarbonatada sódica y cálcica están ubicadas en el centro del estado y la fuente bicarbonatada sulfatada sódica cálcica se encuentra en el nor-este del estado Trujillo (ver Figura 1)

Los estudios físicos e hidrogeoquímicos en las fuentes de agua termal del estado Trujillo permiten establecer: las fuentes de agua termal pueden ser usadas en diversos procesos, donde resalta la balneoterapia, riego (bajo ciertas condiciones físico - químicas y tipo de cultivo), piscinas (disfrute y recreación), piscicultura y según su condición de mineralización como aguas minerales (Lee, 2001), considerando que el contenido bacteriológico esta dentro de los limites permitidos. En algunos casos vemos que, aun cuando, no se adecuan para ser usadas como agua mineral, pueden utilizarse en los hogares para uso doméstico, según lo que sugiere la OMS a través de la FAO, la comisión de normalización de fuentes de agua mineral (CAC - Codex Alimentarium Commisión) y la normativa vigente establecida por el Ministerio de Salud y Desarrollo Social del Estado Venezolano (Gaceta oficial de Venezuela, 1998)(Howard, 2003).

Este estudio ha puesto de manifiesto la clara importancia hidrotermal e hidromineral, en el estado Trujillo, por el total de recursos hídricos subterráneos de alta calidad existentes, tanto de aguas que están ya clasificadas y que actualmente ya están siendo usadas, como de las que, por su calidad, son susceptibles de serlo.

El estado Trujillo puede ser considerado como uno de los estados

de Venezuela con más recursos hídricos para ser explotados en el sector de agua envasable. Conociendo el caudal de las fuentes que pueden ser explotadas, se puede estimar una cifra de recursos en aproximadamente 625.9 hm<sup>3</sup>/año, cuyo reparto en las fuentes mineralizadas que tiene el Estado es: 17.6 % Agua Santa, 25 % AV<sub>1</sub> y AV<sub>2</sub>, 2.5 % Chejendé, 4.3 % Río Arriba, 32.7 % B<sub>1</sub> (fuente artificial), 17.6 % B<sub>2</sub> (fuente Natural). Lo que demuestra que las fuentes del Baño (B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub>) son las más importantes del Estado con un 50 % de la producción de esta región.

En la actualidad, para aguas envasadas solo se alcanza a manejar aproximadamente 106 hm<sup>3</sup>/año, cerca del 17 % del total de aguas termales que se producen en el Estado, de manera que existe aun un potencial de cerca de 83 % sin ser usado en la actualidad.

Resulta sorprendente que la abundancia de recursos, tanto de agua de aplicación balnearia como de agua envasable, no tenga su reflejo en una mayor actividad industrial del sector de las aguas minerales dentro del territorio trujillano.

De cualquier manera las posibilidades de expansión son muy altas en los dos ámbitos de explotación por la cantidad de recursos hidrotermales existentes en el estado Trujillo. Las expectativas reales de crecimiento podrían ser favorables en el campo de aguas envasadas, ya que las fuertes inversiones que requiere la puesta en marcha de instalaciones competitivas que sean atractivas para los turistas nacionales e internacionales, son importantes y no se han promovido por parte del Estado y ni del capital privado.

### Agradecimientos

A la Ilustre Universidad de Los Andes. Al Laboratorio de Química Ambiental, LAQUIAM., de la Universidad de Los Andes. En memoria del **Prof. Claudio Moreno**, Ilustre Profesor, ejemplo de dedicación y trabajo para nuestra Universidad.

### Referencias Bibliográficas

1. **APHA**, *Standard Methods for examination of water and waste water*, 20<sup>th</sup> Ed. Washington, DC, American Public Health Association, 1998, pp. 10 – 50.
2. **APHA**, *Compendium of methods for the microbiological examination of food*. Third edition. Washington D.C.
3. **Anon.** *World Health Organization Guidelines for drinking - Water Quality*, Volumen I, 2<sup>nd</sup> Edition, WHO, Geneva, 1993, pp. 35
4. **Anónimo**, *Diccionario Geográfico del estado Trujillo*, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Publicaciones MARN, Caracas, 1999, pp. 10 – 112.
5. **Australian Standards / New Zealand Standards**. (1998). *AS/NZS ISO 5667.1: 1998 Water Quality – Sampling Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programs, Sampling Techniques and the Preservation and Handling of Samples*. Standards Australia, Sydney. pp. 25 – 34.
6. **Barcelo, J.**, *Aplicación analítica de la dypiridyle et de la phénanthrolin*, Pub. Ins. Invest. Microquim. Argentine **88**: 2 – 4, 1954.
7. **Carrillo E., Benítez, R., Silva, C.** *Inventario Geotérmico de*

- Trujillo Septentrional y distrito Moran del estado Lara*, Published in Abstract Book. AsoVAC. Caracas – Venezuela, 1995.
8. **Chae G., Yun S., Kim K., Mayer B.**, *Hydrogeochemistry of sodium-bicarbonate type bedrock groundwater in the Pocheon spa area, South Korea: water-rock interaction and hydrologic mixing*, Journal of Hydrology 321: 326–343, 2006
  9. **Codex Alimentarius Commission**, *Standard for natural mineral water*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (CODEX STAN 108). Available at [ftp://ftp.fao.org/codex/standard/sp/CXS\\_108e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/standard/sp/CXS_108e.pdf), 1997.
  10. **Codex Alimentarius Commission**, *General standard for bottled/package waters (other than natural mineral waters)*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (CAC/RCP 48). Available at [ftp://ftp.fao.org/codex/standard/sp/CXP\\_048e.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/standard/sp/CXP_048e.pdf), 2001.
  11. **Cruz, V., Franca S.**, *Hydrogeochemistry of thermal and mineral water springs of the Azores archipelago (Portugal)*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 151: 382 – 398, 2006
  12. **Gaceta Oficial de Venezuela**, (1998/5021 Extraordinario, Decreto 883), *Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Caracas – Venezuela, 1998.
  13. **Gross, N.**, *The comparison between Slovene and Central European Mineral and Thermal Eaters*, Acta Chim. Slov. 50: 57 -66, 2003.
  14. **Howard, B.**, Domestic Water quantity, service level and health. Geneva, World Health Organization. 2003, pp: 15 - 52
  15. **Kolthoff, I.**, *Análisis Químico Cuantitativo*, 5ta Edición, Nigar, Mexico, pp. 805 – 830, 1979.
  16. **Lee, K.**, Classification of geothermal resources by energy, Geothermics, **30**: 431-442, 2001
  17. **Murcia, A.**, *Aguas Subterráneas*, Ministerio de Agricultura, Madrid, pp. 50 – 80, 1976
  18. **Mateos, R., López, M., Sánchez, J.**, *Características Hidrogeoquímicas de las aguas termales de la zona de Llucmajor (Mallorca)*, Geogaceta **35**: 171 – 174, 2002
  19. **Recent geothermal literatura**, Geothermics, **27**: 119-122, 1998
  20. **Sánchez, M., Pulido, A., Molina, A.**, *Rasgos hidrogeoquímicos de las aguas termales en los acuíferos carbonatados del bajo Andarax (Almería)*, Geogaceta, **36**: 399 – 410, 2001
  21. **Urbani, F.**, *Fuentes de Aguas Termales de Venezuela*, Geotermia, **2**: 2-3, 1991
  22. **Verma, M.**, *Chemical thermodynamics of silica: a critique on its geothermometer*, Geothermics **29**: 323-346, 2000

***Abreviaturas, Símbolos y Terminología***

AV <sub>1</sub>	<i>Fuente Termal de Agua Viva 1</i>
AV <sub>2</sub>	<i>Fuente Termal de Agua Viva 2</i>
m.s.n.m.	<i>Metros sobre el nivel del mar</i>
B <sub>1</sub>	<i>Fuente Termal del Baño Artificial</i>
B <sub>2</sub>	<i>Fuente Termal del Baño Natural</i>
STD	<i>Sólidos totales disueltos</i>
ST	<i>Sólidos Totales</i>
S	<i>Sulfuroso</i>
I	<i>Inodoro</i>
Ins	<i>Insípido</i>
Ast	<i>Astringente</i>
ppm	<i>Partes por millón</i>
Log.	<i>Longitud</i>
Lat.	<i>Latitud</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
NMP	<i>Número mas Probable</i>