

HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PERTENECIENTES A LAS ZONAS GUACURIPIA-EL PALMAR, ESTADO BOLÍVAR

Gloria M. ESCALONA-PAZO¹ & Santiago A. MARRERO-CLEMENTE¹

¹Laboratorio de Difracción de Rayos X, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Paseo los Ilustres, Urb. Valle Abajo-Código Postal 1040. Caracas, Venezuela. Correo-e.: sahm1@gmail.com

RESUMEN

En el presente estudio se llevó a cabo la caracterización geoquímica de 17 pozos de agua subterránea y dos muestras de aguas superficiales provenientes de la región noreste del estado Bolívar, mediante la determinación de la concentración de las especies químicas mayoritarias Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{-2} , a fin de establecer posibles orígenes de formación y acumulación de las mismas. A fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, fueron empleados el diagrama de Piper y las figuras de Stiff. El diagrama de Piper permitió identificar cuatro tipos principales de agua: cloruradas sódicas, cloruradas magnésicas y/o cálcicas, bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas magnésicas y/o cálcicas; mientras que a partir de las figuras de Stiff, se identificaron dos tipos de aguas, unas de origen fósil (principalmente asociadas a las aguas cloruradas sódicas) y otras de origen meteórico.

Palabras clave: Aguas fósiles, aguas meteóricas, diagrama de Piper, figuras de Stiff.

ABSTRACT

In the present study was carried out geochemical characterization of 17 groundwater wells and two surface water flows from the northeast region of Bolivar State, by determining the concentration of chemical species majority Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3^- , Cl^- and SO_4^{-2} , in order to establish possible origins of formation and accumulation of same. To facilitate the interpretation of the results were built on the Piper diagrams and figures Stiff. Meanwhile, Piper diagram identified four main types of water: sodium chloride, magnesium chloride and / or calcium, magnesium bicarbonate and sodium bicarbonate and / or calcium, while the figures of Stiff to water as described a fossil (mainly associated with sodium chloride waters) and a meteoric origin.

Keywords: fossil water, meteoric water, Stiff diagram y Piper diagram.

INTRODUCCIÓN

El agua es una sustancia mineral líquida indispensable para el desenvolvimiento geológico y biológico del planeta. En biología representa un agente de proliferación, alimentación y suministro de energía para la vida, capaz de asistir e iniciar procesos enzimáticos y

metabólicos que posibilitan la replicación de la molécula de ADN (USGS WATER RESOURCES OF GEORGIA, 2007; ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, CIENCIA Y CULTURA (UNESCO), 2009). En geología es el principal agente erosivo responsable de la morfología y relieve de la superficie (TARBUCK & LUTGENS 1999), contribuye con la formación y disolución de depósitos minerales así como también colabora con el enriquecimiento mineralógico de los suelos debido a la capacidad que posee para transportar iones en solución (TODD 1973; GIL 2005).

Adicionalmente, el agua constituye 1/3 de la superficie terrestre y 2/3 de la hidrósfera (TEJADA 1993), donde un 97,13% de su volumen se corresponde con aguas oceánicas y sólo un 2,87% constituido en forma de reservas de agua dulce, distribuidas en glaciares, ríos y lagos (aguas superficiales) y aguas subterráneas. Estas últimas presentan la mayor relevancia para este trabajo. (SNOEYINK & JENKINS 1997).

Las aguas subterráneas deben su origen a la infiltración o percolación del agua de lluvia, a través de suelos e intersticios de estratos geológicos que poseen una porosidad y permeabilidad adecuada para permitir el movimiento y almacenaje del fluido a través de la roca (TODD 1973). Representan 21% del total de aguas dulces o frescas no contenidas en los océanos (GIL 2005). Su importancia reside en la abundancia, fácil explotación y alta pureza, debido a la protección que le confiere la capa de suelo y/o roca donde se encuentra almacenada (DREVER 1997); además, son estudiadas para caracterizar fisicoquímicamente los acuíferos (ZAPOROZEC 1972).

La composición química de las masas de agua dependerá de la interacción con la litología (determinada por el contacto agua-roca) (HEM 1970) y otros factores como la topografía, el relieve, el régimen de precipitación, la temperatura y los procesos de meteorización (ROY *et al.* 1999), hallándose determinada principalmente por el tipo y cantidad de especies disueltas aportadas por factores como litología, clima, relieve, vegetación y tiempo de residencia o contacto con la roca o sustrato. (TODD 1959; DREVER 1997).

Una de las herramientas más utilizadas para la representación del carácter químico de un cuerpo de agua, es el *Diagrama de Piper*, el cual consiste en dos

campos triangulares donde se representan los valores de concentración de especies catiónicas (inferior izquierdo) y aniónicas (inferior derecho). Adicionalmente, en la parte central se encuentra un campo romboidal principal donde un punto simple representa la proyección de los puntos representados en los dos campos triangulares antes mencionados. Este diagrama tiene como objetivo mostrar la evolución hidrogeoquímica y los posibles procesos de mezcla entre cuerpos de agua (CUSTODIO & LLAMAS 1976; FERREIRA 2007; NEVADO 1999).

Por otra parte, CUSTODIO & LLAMAS (1976) clasifican las aguas subterráneas, según su origen, en seis grupos; a saber:

- a) Aguas vadosas, meteóricas o recientes
- b) Aguas juveniles
- c) Aguas fósiles o connatas
- d) Aguas congénitas
- e) Aguas metamórficas
- f) Aguas minerales

Para esta clasificación las herramientas más utilizadas son las *Figuras de Stiff*, en las cuales se representa la composición del agua según los iones mayoritarios presentes. Simultáneamente, los diagramas permiten visualizar el grado de mineralización de las masas de agua (DREVER 1997).

La gráfica resultante está compuesta de tres ejes horizontales, donde cada uno une un catión y un anión, dispuestos de la siguiente forma: cationes ubicados al lado izquierdo del costado y aniones ubicados al lado derecho, donde el ión Na^+ confronta al Cl^- , el Ca^{+2} al HCO_3^- y el Mg^{+2} al SO_4^{-2} (CUSTODIO & LLAMAS 1976). De esto resulta una figura cuya forma indica las proporciones relativas (en meq/L) de los diferentes iones, mientras el tamaño indica la concentración total en la que están presentes los mismos. (CUSTODIO & LLAMAS 1976).

La importancia de este trabajo reside en que en este sector (El Manganeseo) las aguas se encuentran asociadas a un mármol-dolomítico de espesor desconocido que podría estar modificando la composición química de las mismas; debido a ello, se planteó como objetivo principal determinar cualitativa y cuantitativamente la abundancia y distribución geoquímica de las especies Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} y HCO_3^- con el propósito de establecer las características composicionales y plantear los posibles orígenes de las aguas captadas en la región Guacuripia - El Palmar, estado Bolívar.

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca alrededor de 14 Km^2 , está ubicada al noreste del estado Bolívar, Venezuela (figura 1). Dicha área está enmarcada dentro de dos provincias geológicas: la Provincia de Imataca y la Provincia de Pastora, separadas por la presencia de la Falla de Guri. (DROVENIK *et al.* 1967).

El clima del área muestra una alta variabilidad a lo largo de todo el territorio estatal, presentando una temperatura promedio de 27° C aproximadamente. En general, es un clima tropical con cortos períodos de precipitaciones y etapas prolongadas de sequía, hecho que favorece al proceso de evaporación frente al proceso de precipitación (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA).

En el área se presentan rocas con un grado de metamorfismo que varía de moderado a alto, aflorando esquistos y gneises principalmente (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980; PETRÓLEOS DE VENEZUELA SOCIEDAD ANÓNIMA (PDVSA)-INTEVEP., 1999).

Adicionalmente, el área se caracteriza por presentar formaciones de hierro y manganeso, donde aflora un cuerpo mármol dolomítico. (DROVENIK *et al.* (1967).

Las aguas superficiales (MORANTES 1997) y subterráneas (NEVADO 1999) del área presentan valores anómalos en la concentración de elementos mayoritarios, minoritarios y traza, lo que permite proponer la existencia de zonas altamente mineralizadas.

METODOLOGÍA

Las muestras de agua captadas en cada pozo, fueron enrasadas en dos envases plásticos de 250 mL de capacidad. El primer envase contuvo el agua destinada a la determinación de aniones. Por otro lado, las aguas captadas para la determinación de cationes fueron filtradas y posteriormente acidificadas con $\text{HNO}_3(\text{c})$ bidestilado. En ambos casos, se procedió a refrigerar las muestras hasta el momento de su análisis.

Por su parte, la actividad de laboratorio se llevó a cabo atendiendo a la siguiente metodología: las especies iónicas Na^+ y K^+ se determinaron mediante la técnica de Espectroscopía de Emisión Atómica con llama, y Mg^{+2} por Espectroscopía de Absorción Atómica con llama; mientras el Ca^{+2} fue evaluado por Espectroscopía de Emisión Atómica con plasma inductivamente acoplado. Por otra parte, los iones HCO_3^- y Cl^- fueron conocidos por titulaciones potenciométrica y argentométrica, respectivamente; asimismo el SO_4^{-2} y NO_3^- fueron cuantificados por cromatografía iónica.

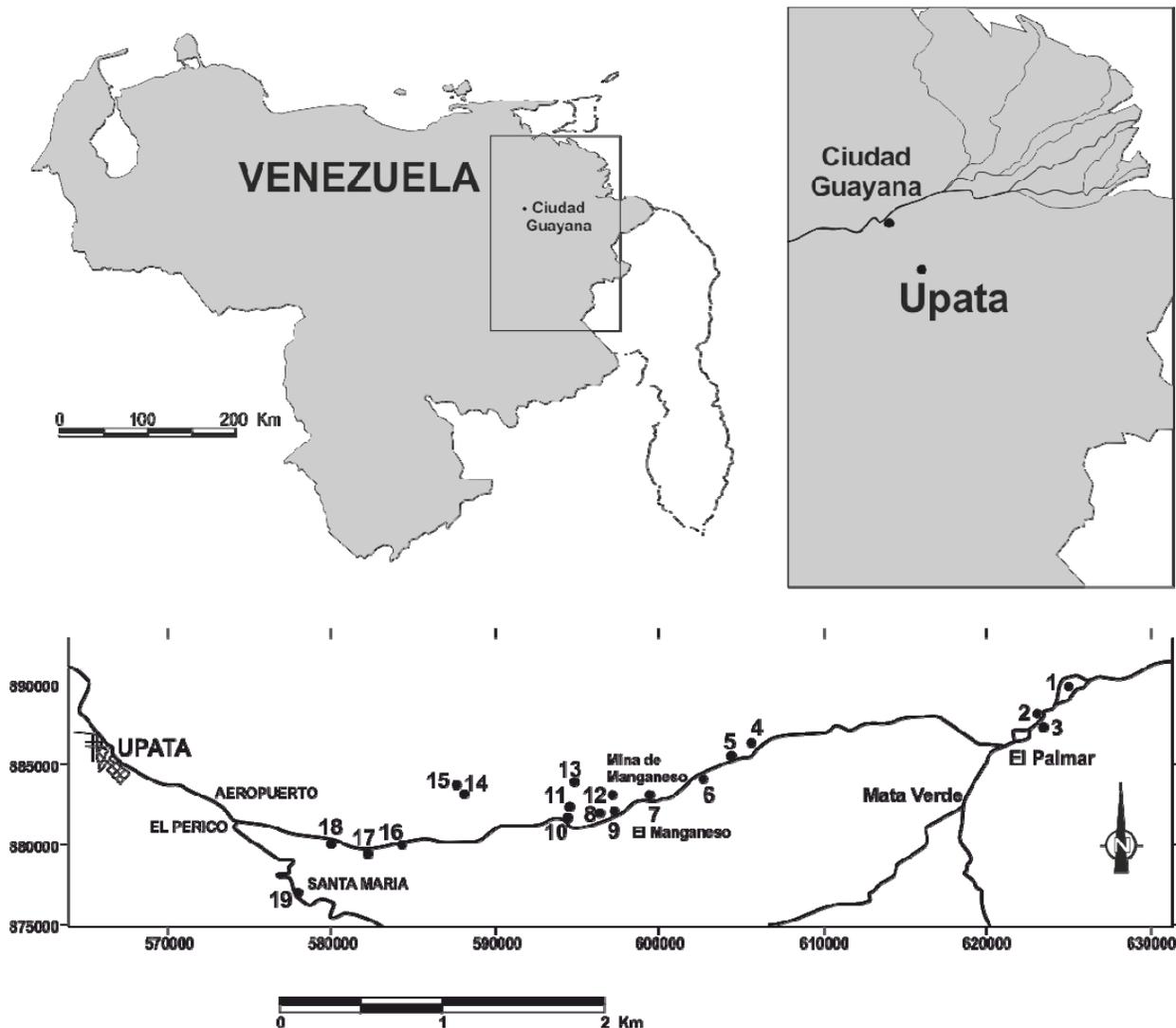


Fig. 1. Ubicación geográfica y Distribución espacial de los puntos de muestreo en la zona de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El diagrama de Piper obtenido para las diecinueve muestras de agua (dos corrientes de agua superficial y 17 pozos de agua subterránea) captadas en la zona de estudio, es presentado en la figura 2. Dicho diagrama permitió observar cuatro tipos de agua asociadas a la zona de estudio; a saber:

- a) Clorurada sódica
- b) Clorurada magnésica y/o cálcica
- c) Bicarbonatada sódica
- d) Bicarbonatada magnésica y/o cálcica

En el mismo orden de ideas, en la tabla 1 se presenta la distribución de los tipos de agua identificadas.

El tipo de agua predominante corresponde a **cloruro de sodio**, presentándose en un 42% del total de las muestras captadas en el área de estudio, distribuido preferencialmente en el sector El Manganeso, en las cercanías del cuerpo dolomítico.

Estos resultados difieren de los presentados por NEVADO (1999), quien describe que el grupo predominante de agua para la zona noreste del estado Bolívar es bicarbonatada cálcica y/o magnésica, con un bajo porcentaje de aguas tipo cloruro de sodio, correspondiente a sólo tres pozos de agua captados en zonas que coinciden con nuestra área de estudio. Adicionalmente, la autora atribuye las aguas de tipo bicarbonato de calcio y/o magnesio a las que percolan a través de las rocas máficas de la Provincia de Pastora; mientras que las del tipo bicarbonato de sodio, las atribuye a las que drenan sobre las rocas félsicas presentes en ambas provincias.

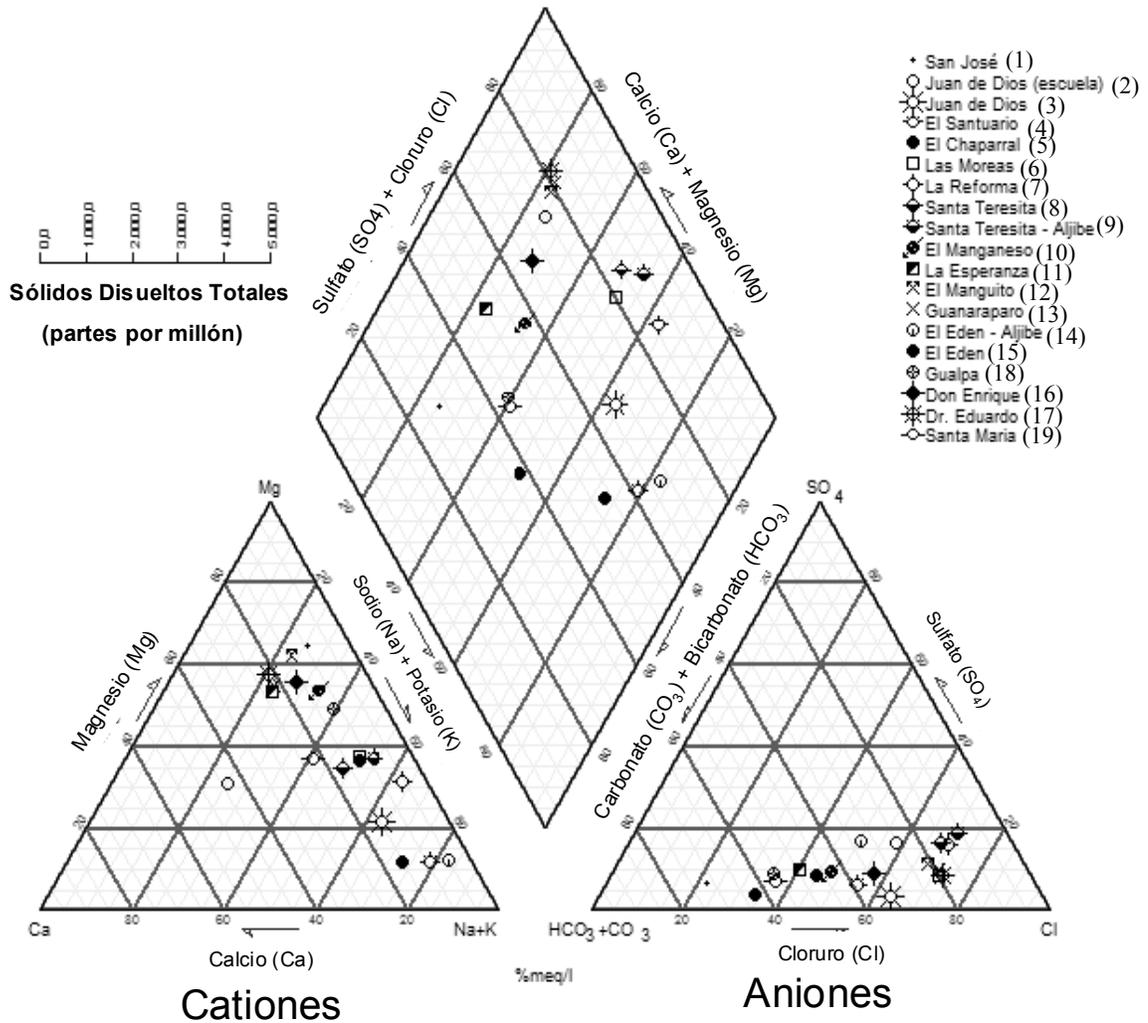


Fig. 2. Diagrama de Piper

Por otra parte FRAPE *et al.* (1984) señalan que las aguas salinas son concentradas en el vértice inferior derecho del triángulo correspondiente al campo de los aniones. En base a esto, el diagrama de Piper obtenido para las muestras de agua captadas en la zona de estudio, permite proponer un posible proceso de mezclas entre masas de aguas subterráneas con aguas de origen salino con un amplio tiempo de residencia en el acuífero donde la tasa de recarga es baja. NEVADO (1999), por otra parte, sugiere un posible contacto entre las aguas de origen meteórico con sustratos previamente sometidos a arduos procesos hidrotermales.

Figuras de Stiff

Las figuras de Stiff obtenidas para las aguas subterráneas captadas en la zona de estudio (ver figuras 3 y 4) permiten identificar principalmente dos grupos de aguas. El primer grupo se refiere a las muestras 2-6-7-8-9-10-11-12-13-17 y 18, correspondientes a los pozos Juan de Dios (escuela), Las Moreas, La Reforma, Santa Teresita, Santa Teresita Aljibe, El Manganeseo, La Esperanza, El Manguito, Río Guanaraparo, Don Enrique y Dr. Eduardo, respectivamente; mientras que las aguas pertenecientes al segundo grupo, comprenden las muestras de agua 1-3-4-5-14-15-16 y 19, correspondientes a los pozos San José, Juan de Dios, El Santuario, El Chaparral, El Edén Aljibe, El Edén, Río Gualpa y Santa María, respectivamente.

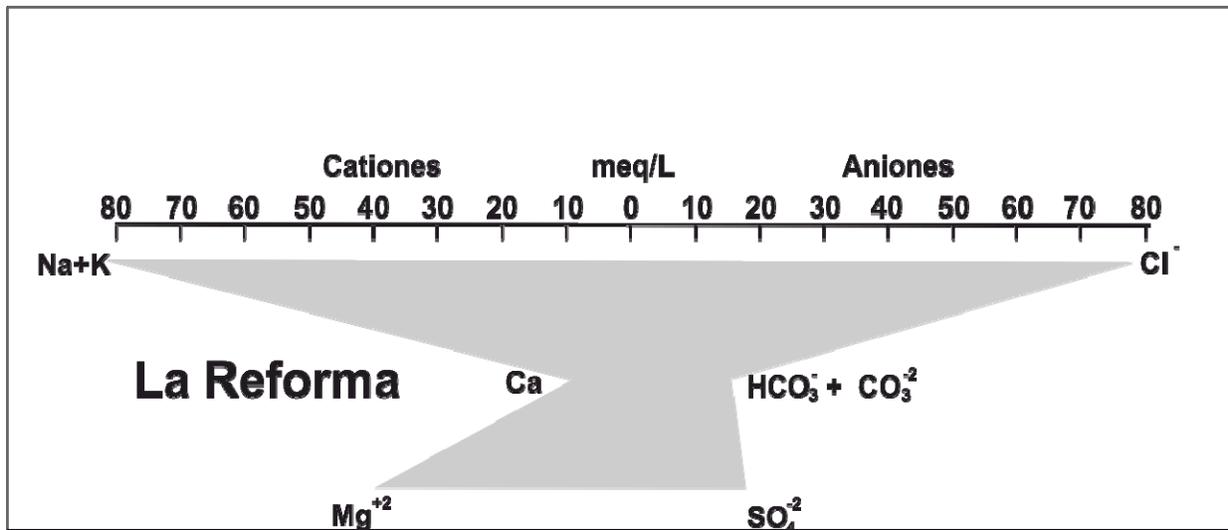


Fig. 3. Figura de Stiff modelo obtenida para el pozo La Reforma (7), perteneciente al grupo uno resultante de la presente clasificación.

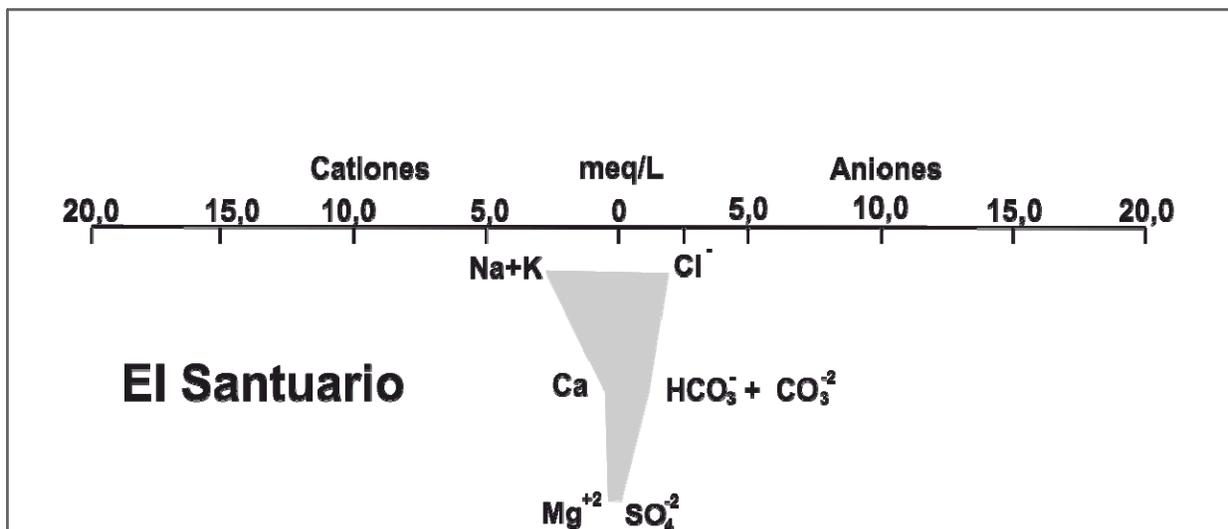


Fig. 4. Figura de Stiff modelo obtenida para el pozo El Santuario (4), perteneciente al grupo dos resultante de la presente clasificación.

El primer grupo de aguas se caracteriza por presentar una relación molar entre las especies Na^+/Cl^- menor o muy cercano al valor de la unidad (tabla 2), indicando así la presencia de aguas salobres posiblemente con un origen asociado a mezclas entre fuentes de agua dulce con paleoaguas (figura 3). NEVADO (1999) añade que podría existir una percolación de las mismas a través de depósitos altamente mineralizados debido a actividad hidrotermal, causando la solubilización de estos depósitos y la incorporación de una gran cantidad de especies iónicas solubles a las masas de agua.

Por otra parte, el segundo grupo de aguas presenta un comportamiento característico de origen meteórico con un ligero carácter dulce, descrito por una composición similar a la que presenta el agua de lluvia (figura 4).

Adicionalmente se lograron obtener para algunas muestras, figuras intermedias entre ambos orígenes previamente discutidos. Este hecho podría estar indicando un posible proceso de mezcla, hecho que se corresponde con lo hallado en el diagrama de Piper. Una de las figuras intermedias obtenidas para estas muestras resultantes del proceso de mezcla se presenta en la figura 5.

Tabla 1: Clasificación de las aguas captadas en el área de estudio según el Diagrama de Piper.

Bicarbonatada		Clorurada	
Sódica	Cálcica y/o magnésica	Sódica	Cálcica y/o magnésica
El Edén Aljibe (14)	Santa María (19)	Juan de Dios (3)	Juan de Dios (2)
	San José (1)	El Santuario (4)	El Manganeseo (10)
	Río Gualpa (18)	El Chaparral (5)	El Manguito (12)
		Las Moreas (6)	Río Guanaraparo (13)
		La Reforma (7)	Dr. Eduardo (17)
		Santa Teresita (8)	Don Enrique (16)
		Santa Teresita Aljibe (9)	La Esperanza (11)
		El Edén (15)	

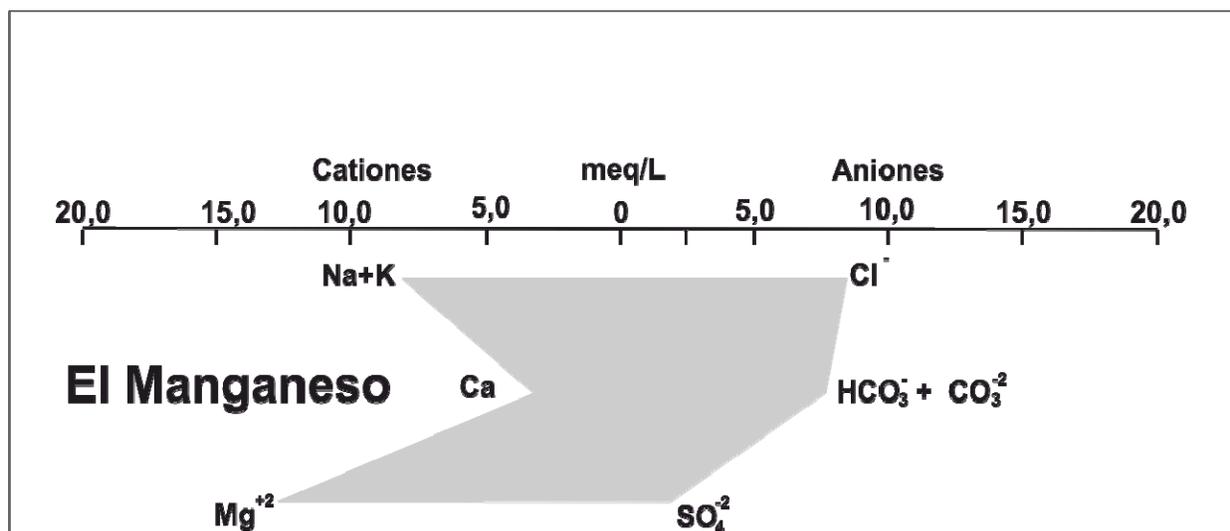


Fig. 5. Figura de Stiff modelo obtenida para el pozo El Manganeseo(10) perteneciente al grupo resultante del proceso de mezcla de aguas.

Estos resultados presentan un comportamiento similar al presentado por NEVADO (1999), quien concluye que la variedad de figuras generadas para el área de estudio, indican que los procesos involucrados son diversos y deben manejarse de acuerdo a los grupos de agua generados.

CONCLUSIONES

Fueron identificados cuatro tipos de agua en el área de estudio: bicarbonatadas sódicas, cloruradas magnésicas y/o cálcicas, bicarbonatadas magnésicas y/o cálcicas y cloruradas sódicas, presentándose esta última como el tipo de agua mayoritaria en un 42% del total de las muestras.

La representación de las figuras de Stiff propone la existencia de dos grupos de agua principalmente, donde las mismas se describen como de origen fósil (o prolongado tiempo de residencia del agua en el acuífero) para las muestras Juan de Dios (escuela), Las

Moreas, La Reforma, Santa Teresita, Santa Teresita Aljibe, El Manganeseo, La Esperanza, El Manguito, Río Guanaraparo, Don Enrique y Dr. Eduardo, mientras el segundo grupo posee un origen meteórico y corresponde a las muestras San José, Juan de Dios, El Santuario, El Chaparral, El Edén Aljibe, El Edén, Río Gualpa y Santa María.

BIBLIOGRAFÍA

- CUSTODIO E. & R. LLAMAS. 1976. *Hidrología Subterránea*. 1ra edición. Editorial Omega, Barcelona-España. Tomo I, 1157 p.
- DREVER J. 1997. *The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*. Tercera edición. Editorial Prentice Hall, Inc. 436 p.
- DROVENIK, F., KRULC, Z., TAJDER, M. Y TALIC, S. (1967). Menas manganesíferas de la región de Uputa. *Boletín de Geología*, 8 (17): 163 p.

- FERREIRA L. 2007. Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas del sector Monte Oscuro-Caño el Diablo y la zona central del sistema de riego del Río Guárico, estado Guárico, Venezuela. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Trabajo Especial de Grado. 140 p.
- FRAPE S., P. FRITZ & R. MCNUTT. 1984. Water-Rock interaction and chemistry of groundwaters from the Canadian Shield. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48:1617-1627.
- GIL M. 2005. *Procesos de descontaminación de aguas*. Editorial Thomson. 263 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., P. ITURRALDE & X. PICARD, X. 1980. *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Editorial Foninves, Caracas. Tomo 1: 31-38.
- HEM J.D. 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Segunda edición. *Geological Survey Water supply*, Paper 2254, 263p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. <http://www.inameh.gob.ve>
- MORANTES J. 1997. *Estudio Hidrogeoquímico en la cuenca del Cuyuní, estado Bolívar, Venezuela*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Trabajo Especial de Grado. 138 p.
- NEVADO N. 1999. *Caracterización Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas asociadas a rocas ígneo-metamórficas en la región noreste del estado Bolívar*. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Trabajo Especial de Grado.
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, CIENCIA Y CULTURA (UNESCO). *World water resources at the beginning of the 21st century*. Consultado el 30 de abril de 2009.
- PETRÓLEOS DE VENEZUELA SOCIEDAD ANÓNIMA (PDVSA)-INTEVEP. 1999. *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. <http://www.pdv.com/lexico>
- ROY S., J. GAILLARDET & J. ALLEGRE. 1999. Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine River, France: Anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 63 (9):1277-1292.
- SNOEYINK V. & D. JENKINS. 1997. *Química del agua*. Cuarta reimpresión, Editorial Limusa, S.A. 508 p.
- TARBUCK E.J. & F.K. LUTGENS. 1999. *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología Física*. Sexta Edición, Editorial Prentice Hall, 616 p.
- TEJADA G.A. 1993. *Vocabulario Geomorfológico*. Ediciones Akal, 184 p.
- TODD D. 1973. *Hidrología. Agua subterránea*. Editorial paraninfo. John Wiley & Sons, Inc. 371 p.
- TODD D. 1959. *Ground Water Hydrology*. Toppan Company. John Wiley & Sons, INC. 336 p.
- USGS WATER RESOURCES OF GEORGIA. *Earth's water distribution*. U.S. Geological Survey. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>. Consultado el 17 de mayo 2007.
- ZAPOROZEC A. 1972. Graphical interpretation of water quality data. *Groundwater*, 10 (2): 32-43.