

CALIDAD QUÍMICA 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

Con el objeto de evaluar la calidad química de las aguas subterráneas provenientes de 17 pozos de la región de Guacuripia, al noreste del estado Bolívar, se procedió a determinar los parámetros fisicoquímicos conductividad, temperatura y pH, así como la concentración de las especies químicas Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- .

De acuerdo a los datos obtenidos, la calidad química de las aguas de la zona de estudio, según el decreto 475 (MINISTERIO DE SALUD, 1998) resultó no apta para consumo o uso potable, por lo que se procedió a comparar con los valores establecidos en el Decreto 883 (GACETA OFICIAL N° 5021, 1995) del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, en busca de atribuir posibles usos según la calidad de las mismas. Atendiendo a este último Decreto, un 47,4% de las aguas son ubicadas por debajo del límite aceptable, un 42,1% de las aguas se consideran aceptables o clase 4 y sólo un 10,5% son consideradas como excelentes o clase 1 resultando óptima para su consumo.

Palabras clave: Geología Médica. Aguas Subterráneas, calidad química del agua, Guacuripia.

ABSTRACT

In order to evaluate the chemical quality of groundwater from 17 wells in the Guacuripia locality, at the north - east region of Bolívar state, we proceeded to determine the physicochemical parameters conductivity, temperature and pH and concentration of chemical species Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- .

According to the obtained data, the chemical quality of the waters of the study area, according to decree 475 (HEALTH MINISTRY, 1998) was unfit for consumption or use clean, so we compared the values established in the decree 883 (OFFICIAL GAZETTE N° 5021) of the Environment Ministry and Natural Resources, seeking to attribute possible uses depending on the quality of them. According to the latter decree 47.4% of the waters are located below the acceptable limit, 42.1% of the waters are considered acceptable or class four and only 10.5% are considered excellent or class 1, resulting optimal for consumption.

Keywords: Medical Geology, groundwater, Chemicals quality of water, Guacuripia.

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas de la región Guacuripia-El Palmar del estado Bolívar están en contacto con una litología dominada principalmente por cuarcitas, cuarcitas ferruginosas, esquistos hornbléndicos y mármol dolomítico (DROVENIK *et al.*, 1967). Dicha composición litológica incorpora especies iónicas como calcio y magnesio, al agua subterránea, como producto de la meteorización del cuerpo de roca (JIN *et al.*, 2007), produciendo cambios físico químicos en las mismas (KIM *et al.*, 2010), que pudiesen estar siendo asociados, de forma aun no bien definida, a la aparición y/o desarrollo de enfermedades cerebro y cardiovasculares (DISSANAYAKA & CHANDRAJITH, 1999; YANG *et al.*, 2006).

Debido a que las aguas subterráneas de la zona en estudio están destinadas principalmente al consumo humano, el estudio de la composición de las mismas adquiere una gran importancia. Investigaciones realizadas en el área han sugerido una relación directa entre elevados niveles en la relación calcio/magnesio (presentes en el mármol de Guacuripia) y la aparición y/o desarrollo de estas enfermedades con alto índice de morbilidad (DISSANAYAKA & CHANDRAJITH, 1999; TOSIANI, 2008), principalmente las relacionadas a infartos al miocardio (KOUSA *et al.*, 2007).

En Venezuela, las principales causas de muerte relacionadas a enfermedades no transmisibles están asociadas al corazón, cáncer y alteraciones cerebro y cardiovasculares. Por su parte, en el estado Bolívar ocurre el 17% de los decesos debidos a enfermedades del corazón, siendo el porcentaje más bajo a nivel nacional. Sin embargo, un 40% de esta tasa de mortalidad, está representada por personas con edades por debajo de los 65 años (TOSIANI, 2008), hecho que brinda a esta investigación una gran importancia.

Sobre esta base, el objetivo principal de esta investigación es determinar, cualitativa y cuantitativamente, la abundancia y distribución geoquímica de las especies químicas Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} y HCO_3^- , a fin de evaluar si la calidad química del agua subterránea presente en la región Guacuripia - El Palmar, estado Bolívar, es la adecuada para asignar un uso potable y en caso de no ser apta para tal uso, sugerir un destino para las mismas,

según resulten las características composicionales de las mismas.

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca alrededor de unos 14 Km² y se ubica al noreste del estado Bolívar, Venezuela. Dicha

área se encuentra enmarcada dentro de dos provincias geológicas, a saber: La Provincia de Imataca y La Provincia de Pastora, separadas entre sí por la presencia de la Falla de Guri (DROVENIK *et al*, 1967). (Figura 1).

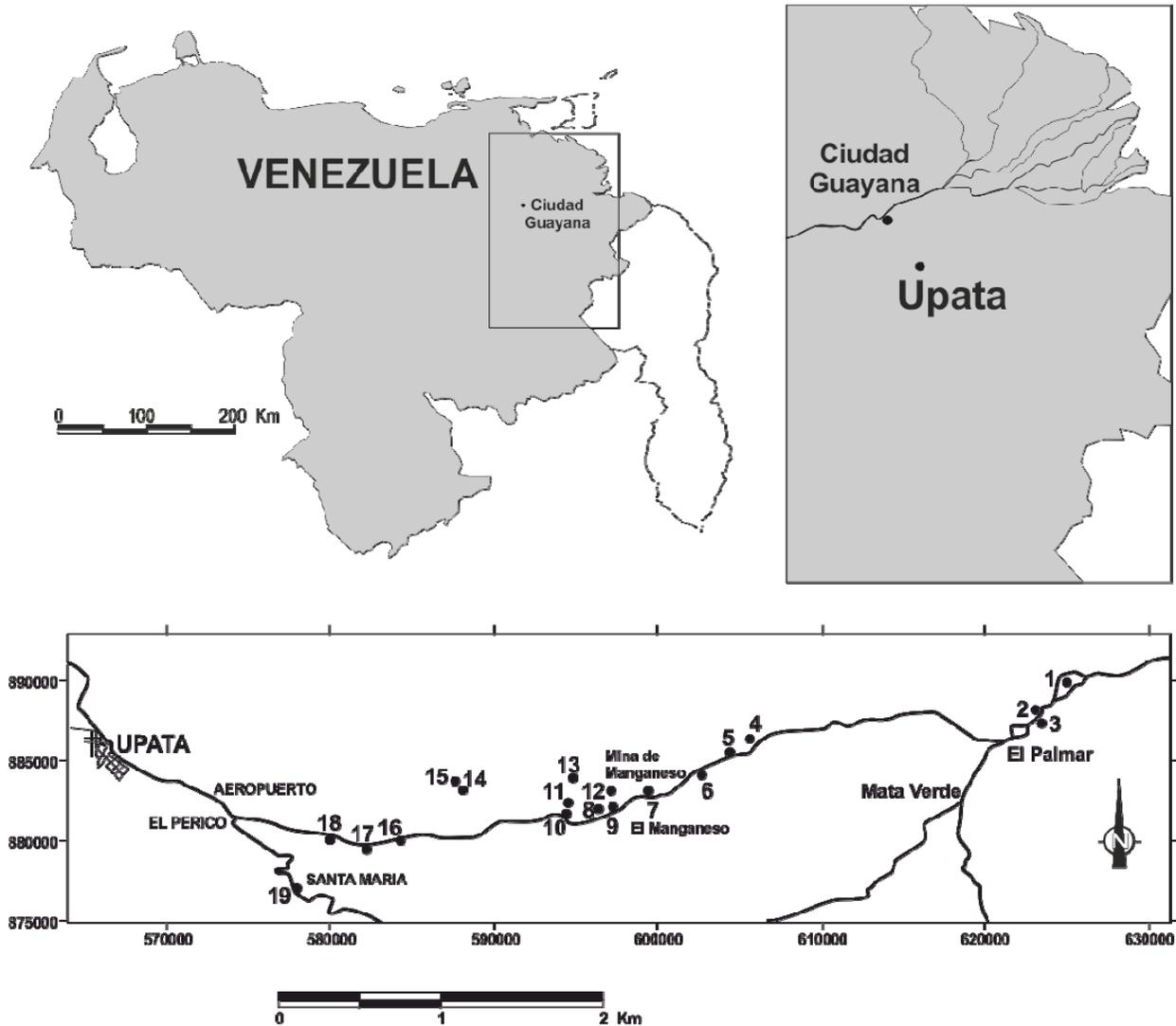


Fig. 1: Ubicación geográfica y distribución de los puntos de muestreo en la zona de estudio.

El clima del área presenta alta variabilidad a lo largo de todo el territorio estatal, mostrando una temperatura promedio de aproximadamente 27° C. 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).

Desde el punto de vista litológico, las rocas presentan de moderado a alto grado de metamorfismo, aflorando principalmente esquistos y gneises (GONZÁLEZ *et al.*, 1980). Adicionalmente, el área se caracteriza por la presencia de una formación de hierro y manganeso, donde aflora un cuerpo de roca mármol dolomítico. (DROVENIK *et al.*, 1967).

Hidrológicamente, 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

La determinación de los parámetros fisicoquímicos conductividad, temperatura y pH fue llevada a cabo en campo con un pH-metro marca Orión modelo 250 A.

Por otra parte, se colectó el agua de cada pozo 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 ácido nítrico bidestilado. En ambos casos, se procedió a refrigerar las muestras hasta el momento de su análisis.

La actividad de laboratorio se llevó a cabo de la siguiente forma: las especies iónicas Na^+ y K^+ se determinaron mediante la técnica analítica de espectroscopia de emisión atómica con llama. El Mg^{+2} se determinó por espectroscopia de absorción atómica con llama; mientras el Ca^{+2} se determinó por espectroscopia de Emisión Atómica con fuente de plasma inductivamente acoplado. Por su parte, los iones HCO_3^- y Cl^- fueron determinados por titulaciones potenciométrica y argentométrica, respectivamente, y los iones SO_4^{-2} y NO_3^- fueron cuantificados por cromatografía iónica.

La distribución espacial de los puntos de muestreo en la zona de estudio es presentada en la figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos fueron validados por medio del cálculo de la conductividad teórica y del balance iónico, a fin de establecer la confiabilidad de los datos, los cuales resultaron ser confiables según el criterio propuesto por HEM (1985), donde señala que valores iguales o menores al 10% en el balance, son considerados datos confiables desde un punto de vista geoquímico (FAUBLACK, 2008).

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en el Decreto 475 (MINISTERIO DE SALUD, 1998), donde se exponen las normas técnicas referidas a la calidad del agua potable, desde un punto de vista físico, organoléptico, microbiológico y químico.

En la tabla 1 se muestran las concentraciones por norma de las especies Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} según el decreto 475 (MINISTERIO DE SALUD, 1998), así como la calidad de las aguas captadas según los máximos permitidos desde un punto de vista químico.

Tabla 1: Características químicas del agua captada en el área de estudio.

Parámetro	Valor ideal (mg.L ⁻¹)	Muestra Excedente	Condición
Calcio	60	2-6-7-8-9-11-12-17	No aptas para uso potable
Alcalinidad	100	2-5-6-7-8-9-10-11-12-15-15-16-17	No aptas para uso potable
Cloruro	250	2-6-7-8-9-10-12-16	No aptas para uso potable
Magnesio	36	2-6-7-8-9-10-11-12-16-17	No aptas para uso potable
Manganeso	0,1	2-7-14	No aptas para uso potable
Sulfato	250	7-8-9-12	No aptas para uso potable
Aluminio	0,2	14	No aptas para uso potable
Nitrato	10	3-5-6-7-10-12-15-16	No aptas para uso potable

Las concentraciones determinadas para las especies Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y la magnitud de los parámetros fisicoquímicos pH y conductividad se muestran altos para todas las especies estudiadas.

En ocho del total de las muestras estudiadas, se observan valores de concentración ubicados por encima del sugerido como máximo permitido por la norma propuesta en el Decreto 883 (GACETA OFICIAL N°5021,

1995) de 370 mg.L⁻¹, para las aguas de clase 1, 2, 3 y 4, lo que permite indicar que estas aguas se encuentran ***por debajo del límite aceptable*** (tabla 1). El ión Na^+ , por su parte, muestra un comportamiento similar al presentado por el ión HCO_3^- , mostrando valores para las concentraciones ubicadas por encima del máximo permitido por la norma para la clasificación de estas aguas como clase 1, 2 o 3 (140 mg.L⁻¹), para un total de seis muestras (tabla 1). Esto permite proponer una

clasificación de las mismas como aguas de **clase 4 o Aceptables**.

En la misma línea de ideas, el ión Cl^- presenta valores de concentración que están ubicados por encima del valor límite recomendado por el Decreto 883 (Gaceta Oficial N°5021, 1995) de 300 mg.L^{-1} , en ocho del total de las muestras de agua estudiadas, para una

clasificación del tipo clase 1 (tabla 2). Adicionalmente, estas muestras se ubican por encima de los valores establecidos en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N°5021, 1995) de 250 mg.L^{-1} , para las aguas clase 2 o 3, lo que permite clasificar a las mismas como aguas **clase 4 o Aceptables**.

Tabla 2: Clasificación de las aguas captadas en la zona de estudio según su calidad química.

Muestra	Parámetro fuera del límite permitido	Tipo de Agua
San José	pH	Aceptable o Clase 4
Juan de Dios (Escuela)	Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Mg^{2+} / Ca^{2+}	Por debajo del límite Aceptable
Juan de Dios	pH/ NO_3^-	Aceptable o Clase 4
El Santuario	pH	Aceptable o Clase 4
El Chaparral	pH/ NO_3^-	Aceptable o Clase 4
Las Moreas	pH/Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / NO_3^-	Por debajo del límite Aceptable
La Reforma	Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / NO_3^-	Por debajo del límite Aceptable
Santa Teresita	pH/Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / Ca^{2+}	Por debajo del límite Aceptable
Santa Teresita Aljibe	Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / Ca^{2+} / K^+	Por debajo del límite Aceptable
El Manganeso	SDT/ HCO_3^- / Na^+ / Mg^{2+} / K^+ / NO_3^-	Por debajo del límite Aceptable
La Esperanza	HCO_3^- / Mg^{2+}	Por debajo del límite Aceptable
El Manguito	Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / NO_3^-	Por debajo del límite Aceptable
Guanaraparo	Conduct/ Cl^- / Mg^{2+} / NO_3^-	Aceptable o Clase 4
El Edén Aljibe	Ninguno	Excelente o Clase 1
El Edén	pH	Aceptable o Clase 4
Gualpa	NO_3^-	Buena o Clase 3
Don Enrique	pH/ Mg^{2+} / NO_3^-	Aceptable o Clase 4
Dr. Eduardo	Conduct/SDT/ HCO_3^- / Cl^- / Na^+ / Mg^{2+} / Ca^{2+} / NO_3^-	Por debajo del límite Aceptable
Santa María	Ninguno	Excelente o Clase 1

Por otra parte, el ión Mg^{2+} presenta, para once del total de muestras, un valor de concentración ubicado por encima del máximo permitido por la norma de 70 mg.L^{-1} , para la clasificación de aguas clase 1, 2 y 3, lo que permite clasificar a estas aguas como **clase 4 o**

Aceptables. En la misma línea de ideas, el ión Ca^{2+} presenta, para cuatro del total de muestras, concentraciones ubicadas por encima del límite superior permitido por el Decreto 883 de 200 mg.L^{-1} , como máximo permitido en aguas de clase 1, 2 o 3. Este

hecho permite clasificar estas aguas como **clase 4 o Aceptables**. Vale acotar que ambos elementos en los dos pozos comunitarios principales, conocidos como San José y El Edén, presentan las menores concentraciones, lo que permite caracterizar a estas aguas como las más blandas en la zona de estudio. Adicionalmente, es importante señalar la existencia de una relación (aun no bien definida) entre la baja dureza del agua y la posible adquisición y/o desarrollo de enfermedades cerebro y cardiovasculares (TOSIANI, 2008, KOUSSA *et al.*, 2007, HIROTOSHI *et al.*, 2006), las cuales representan un importante índice de morbilidad.

El ión SO_4^{2-} muestra altas concentraciones; donde en dos pozos y un aljibe se detectaron valores por encima del máximo valor permitido de 340 mg.L^{-1} , para la clasificación de los mismos como aguas clase 1, 2 o 3, lo que conlleva a clasificar a estas aguas como de **clase 4 o Aceptables**.

Por su parte, el ión K^+ presenta dos muestras con valores de concentración ubicados por encima del máximo permitido por el Decreto 883 de 20 mg.L^{-1} , para la clasificación de aguas clase 1, 2 y 3, por lo que las mismas son definidas como aguas **clase 4 o Aceptables**.

El Decreto 883 (GACETA OFICIAL N°5021, 1995) establece que para clasificar las aguas como clase 1 o 2, la concentración del ión NO_3^- no debe exceder de 10 mg.L^{-1} ; sin embargo, en diez de las muestras captadas para la zona de estudio los valores de concentración obtenidos están por encima de este máximo permitido, lo que conlleva a clasificar estas aguas como **clase 3 o Buenas**. Esta especie se atribuye principalmente a la degradación de la materia orgánica aportada por el ganado, el uso de fertilizantes para los cultivos y desechos urbanos (desechos orgánicos), más que a la disolución de posibles sales minerales presentes en los afloramientos de la zona de estudio.

Para algunas muestras, los valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos pH y conductividad, así como para la concentración de sólidos disueltos, se hallaron fuera de la data sugerida en el Decreto 883 (GACETA OFICIAL N°5021, 1995). Por su parte, el pH presenta para un total de ocho muestras (figura 1), valores ubicados por debajo del límite inferior presentado en el Decreto 883 (GACETA OFICIAL N°5021, 1995) de 6,5, para la clasificación de aguas clase 1, 2 y 3, por lo que las mismas son catalogadas como aguas **clase 4 o Aceptables**. La conductividad presenta valores ubicados por encima del máximo permitido por el Decreto 883, para la clasificación de aguas clase 1 y 2 de valor máximo $2000 \mu\text{S.cm}^{-1}$, en un total de ocho muestras (figura 1), lo que conlleva a clasificar a estos cuerpos de agua como **clase 3 o Buena**. Finalmente, la concentración obtenida para los sólidos disueltos totales presenta como máximo permitido para la clasificación de aguas tipo 1, 2 o 3, un

valor de 1300 mg.L^{-1} ; sin embargo, ocho del total de muestras bajo estudio presentan valores de concentración ubicados por encima de la norma, lo que conlleva a clasificar a las mismas como aguas **clase 4 o Aceptables**.

Únicamente las muestras El Edén Aljibe y Santa María presentan valores, tanto en la concentración de las especies iónicas como en los parámetros fisicoquímicos determinados, ubicados dentro de los máximos propuestos en el Decreto 883 (GACETA OFICIAL N°5021, 1995). Este hecho permite clasificar a estas aguas como **clase 1 o Excelentes**, atribuyendo a las mismas una óptima calidad para un uso de consumo y doméstico principal.

CONCLUSIONES

Las aguas captadas en la zona de estudio resultan no ser aptas para uso potable (uso actual de las mismas) desde el punto de vista químico, según el Decreto 475 del Ministerio de Salud, siendo en su mayoría de **clase 4 o Aceptables** en atención a los máximos permitidos expuestos en el Decreto 883 (Gaceta Oficial N°5021, 1995) del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, lo que las destina preferencialmente a usos industriales, comercio, paisaje y navegación.

BIBLIOGRAFÍA

- DISSANAYAKA C.B. & R. CHANDRAJITH. (1999). Medical Geochemistry of tropical environments. *Earth- Science Reviews*.47 (1): 219-258.
- DROVENIK F., Z. KRULC, M. TAJDER & S. TALIC. (1967). Menas manganesíferas de la región de Upata, *Boletín de Geología*, 8 (17),163p.
- FAUBLACK A. (2008). Estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de los sectores Barbacoas, Edo. Aragua y Cachamas, Edo. Guárico, Venezuela. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias de la Tierra. Trabajo Especial de Grado.109 p.
- GONZÁLEZ C., P. ITURRALDE & X. PICARD. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Tomo 1. Edición Foninves, Caracas, 31-38.
- HEM J.D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. Dallas (USA): U.S Geological Survey Water supply Paper 2254. 263p.
- HIROTOSHI M., K. MATSUMOTO, G. ENDO, M. KIMURA & Y. TAKAISHI. (2006). *Nuevas perspectivas en la búsqueda de Magnesio. Nutrición y Salud*. Editorial Springer-Verlag. Capítulo II. Pág. 11-18.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE. <http://www.inameh.gob.ve>.
- JIN L., E. WILLIAMS, K. SZRAMEK, L. WALTER, & S. HAMILTON. (2007). Silicate and carbonate mineral weathering in soil profiles developed on Pleistocene

- glacial drift (Michigan, USA): Mass balances based on soil water geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica*. 72 (1): 1027-1042.
- KIM K., S. KIM, S. PARK, & M. CHOI. (2010). Processes controlling the variations of pH, alkalinity, and CO₂ partial pressure in the porewater of coal ash disposal site. *Journal of Hazardous Materials*. 181(1):74-81.
- KOUSA A., A. HAVULINNAB, E. MOLTCHANOVAB, O. TASKINENB, M. NIKKARINENA, V. SALOMAAB, & M. KARVONENB. (2007). Magnesium in well water and the spatial variation of acute myocardial infarction incidence in rural. *Applied Geochemistry*. 23(1): 632-640.
- MINISTERIO DE SALUD. (1998) Decreto 475. *Normas técnicas de calidad del agua potable. Capítulo III: Normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable*. <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/current/index.cf>. Consulta 17 agosto 2011.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (1985). *Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos. Capítulo II: Clasificación del agua*. <http://www.slideshare.net/katiuskacaecheverria/decreto-883>. Consulta 17 agosto 2011.
- 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. Trabajo Especial de Grado.
- TOSIANI T. (2008). Patologías asociadas a la distribución natural de selenio, calcio y magnesio sobre la corteza terrestre. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela (UCV). *INTERCIENCIA*. 33 (3): 23-31.
- YANG C.Y., C. CHANG, S. TSAI & H.F. CHIU. (2006). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from acute myocardial infarction in Taiwan. *Environmental research*. 101(1): 407-411.