



Calidad del agua y riesgos hídricos en dos acueductos rurales comunitarios estado Vargas, Venezuela

Water quality and hydric riks of two rural Two aqueducts at Vargas state Venezuela

Yolanda Barrientos*
Ysley Perdomo**

Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Instituto Pedagógico de Caracas.

Centro de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano.

Recibido: septiembre 2014. Aceptado: octubre 2014

Resumen

Los cursos de agua superficiales tienen en el estado Vargas una alta demanda para el abastecimiento humano. El objetivo fue reevaluar la calidad del agua de las quebradas Osorio (QO) y Piedra Azul (QPA) que surten dos acueductos rurales por el consumo de agua cruda en las comunidades y los riesgos hídricos asociados. El estudio fue cuantitativo, de campo, descriptivo e interpretativo. Se recolectaron ocho muestras de agua, durante los años 2006-2007, para la caracterización físico-química y la determinación de metales. Se utilizó la estadística descriptiva y la matriz de correlación de Spearman para el análisis de los resultados. Las aguas superficiales son bicarbonatadas mixtas cloruradas y sulfatadas, muy duras y duras respectivamente. Las concentraciones promedio y puntuales de hierro total y aluminio, con un valor máximo en la QO, representan un riesgo hídrico químico para las comunidades. Los cambios, en las especies químicas, reportados reflejan una resiliencia ambiental.

Palabras claves: Calidad del agua, riesgos hídricos, quebradas, acueductos rurales, Vargas

* yolanda.barrientos@gmail.com

** ysleyp@gmail.com

Abstract

The surface watercourses are in high demand for human supply at Vargas state. The objective was to re-evaluate the water quality at Osorio (QO) and Piedra Azul (QPA) streams that supply two rural aqueducts. The study has quantitative, fieldwork, descriptive and interpretative approaches. Eight water samples were collected during 2006-2007, for physico-chemical characterization and determination of metals. Descriptive statistics and Spearman correlation matrix for the analysis of the results was used. Surface waters are mixed chlorides and bicarbonates sulfated, very hard and tough respectively. The average concentrations of total and specific iron and aluminum, with a maximum value in the QO, chemical water represent a risk to communities. Changes in the chemical species, reported reflect environmental resilience.

Keywords: Water quality, hydric risks, streams, rural aqueducts, Vargas

1. Introducción

Uno de los riesgos más comunes y difundidos relativo al agua potable es el de su contaminación, sea esta directa o indirecta, debido al contacto con aguas servidas, con desechos sólidos-líquidos, excretas del hombre, animales o por metales pesados, responsables todos ellos de la transmisión de enfermedades de origen hídrico, vectores biológicos o toxicidad físico-química.

Los criterios cuantitativos de calidad del agua representan la proporción de muestras o suministros que se ajustan a los valores de orientación fijados para su determinación, y criterios mínimos para el tratamiento así como la protección de las fuentes. La calidad del agua es un valor guía que indica la concentración de un constituyente, sin representar ningún riesgo significativo para la salud del consumidor según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (1998).

Por otra parte, el agua debe ser adecuada para ser ingerida por el hombre y para todos los usos domésticos corrientes. Cuando se rebasa un valor indicativo, hay que averiguar la causa de esta variación, presente en la composición del agua y adoptar una medida correctiva; en caso de excederse en uno de los valores guía y durante un cierto tiempo, sin poner en peligro la salud humana, dependerá de la sustancia que altere la condición de potabilidad del agua (Ob.cit).

Entre las medidas correctivas disponibles esta el procedimiento del tratamiento mínimo, el cual consiste en la protección de las fuentes y las zonas de captación, con el fin de reducir a lo más mínimo, tanto la contamina-

ción como la complicación de los procedimientos de tratamiento necesarios para garantizar la potabilidad.

La composición química del agua de un río es muy variable, ya que debido a la interacción entre el agua de precipitación, suelo, rocas y aportes antropogénicos, aumentan o disminuyen las concentraciones de las especies químicas disueltas y los compuestos orgánicos. La referida composición química en los cursos fluviales es estacional, ya que durante los períodos lluviosos y secos disminuyen o aumentan las concentraciones de especies químicas, compuestos orgánicos y otros contaminantes. Esta dinámica acuática origina riesgo sanitario para la salud en el entorno de las cuencas y de las epidemias transmitidas por el agua, debido en parte a la gestión ineficiente de los recursos hídricos (Bonetto, 2004).

Por lo tanto el riesgo hídrico químico esta asociado a la presencia de especies y compuestos químicos, cuando sus concentraciones promedio o valores máximos, a lo largo de un muestreo periódico, superan los límites o rangos de aceptabilidad apoyados en normas nacionales e internacionales; pudieran generar niveles de toxicidad crónicos, puntuales o difusos, tanto microbiológicos como químicos, para la población que utiliza las mismas, como fuente de abastecimiento de agua cruda permanente o intermitente, por medio de acueductos rurales comunitarios o tomas aisladas según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2000).

Durante el *Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental (1981-1999)*, específicamente el plan de acción planteado en la Agenda 21 o Programa 21, en su capítulo 18 expone la importancia de la vigilancia y el mejoramiento de los sistemas de abastecimiento de agua, para las pequeñas comunidades, en particular gracias a una serie de proyectos ejecutados con el apoyo de la OMS (1998). La experiencia derivada de esos proyectos y de muchos otros relacionados con el mejoramiento de la calidad de los servicios hídricos, ejecutados durante el Decenio, varían en los distintos países como resultado de las diferencias en los factores políticos, económicos, geográficos, culturales y sociales. Es fundamental destacar, que para aquellos que se ocupan del abastecimiento del agua potable a las pequeñas comunidades, les incumbe la responsabilidad de gestión para mejorar los servicios de suministro de agua, no solo en las comunidades, aldeas y los pequeños sistemas de distribución de agua en las zonas rurales, sino también a los demás centros poblados y grandes ciudades (OPS, 2000).

Este es el caso de las quebradas Osorio y Piedra Azul donde en las cuencas bajas, existen acueductos rurales comunitarios, por la falta o fallas en el abastecimiento continuo de agua potable, por parte de hidrológica local; debido fundamentalmente a deficientes sistemas de bombeo, que no suministran el agua a los sectores ubicados por encima de 80 m.s.n.m., como

es el caso de algunos sectores pertenecientes a las parroquias La Guaira como La Cabrería, Caja de Agua, Guamacho, Perro Seco y La Toma y en Maiquetía: El Rincón, Quebrada Seca y Piedra Azul) (Suárez e Iztúriz, 2002).

Los ríos Macuto, San Julián, Cerro Grande, Naiguatá y Camurí del mismo estado, han sido utilizados para el consumo humano, así como las QO y QPA, aunque en menor cantidad, en las partes altas de las parroquias Maiquetía y La Guaira (Amend, 1991).

En cuanto a los antecedentes de la investigación, pocos estudios hidroquímicos se han realizado en el estado Vargas, a pesar de los abundantes cursos de agua presentes a lo largo de su geografía. Entre los pioneros pueden mencionarse las caracterizaciones físico-químicas en los ríos Caruao, Aguas Calientes y Chichiriviche donde se reportó la presencia de hierro total en concentraciones de 0,15; 0,30 y 1,0 mg/L, superando el máximo permitido por la normativa COVENIN (1982) y MSA5 (1998) de 0,3 mg/L para aguas de consumo humano (Urbani, 1969, 1981).

Datos más preocupantes en términos de exposición de la población al gas radón, de manera difusa o puntual, tanto en el aire como disuelto en agua, corresponden a las investigaciones realizadas en 15 ríos, fuentes termominerales y en la red de acueductos del referido estado. Los mencionados estudios revelaron que en las localidades varguenses, de Osmá y Oritapo, se obtuvieron concentraciones de radón muy por encima de los rangos aceptados para aguas de consumo humano a nivel nacional e internacional (Castro, Palacios, Sajo-Bohus y León, 1997, 1998a).

Por su parte, Devia (2003) determinó el contenido de sólidos totales disueltos en el agua de las QO y QPA, mediante un estudio gravimétrico, así como la comparación de los parámetros físicos-químicos tales como: Conductividad específica, sólidos totales disueltos, residuo alcalino seco y las propiedades organolépticas de aspecto, olor y sabor; tipificándolas como aptas para el consumo humano.

Igualmente, Perdomo (2005) valoró mediante una investigación cualitativa la conceptualización, las representaciones sociales y las prácticas básicas sobre la potabilidad del agua, entre los miembros de la comunidad educativa de la UENB *Sergio María Recagno*, sector La Cabrería parroquia La Guaira.

Barrientos, Suárez, Pacheco, Ruíz, Devia, Perdomo y León (2005) reportaron los niveles de contaminación microbiológica y el índice de morbilidad para el síndrome diarreico, con incrementos hasta de un 300% para el primer semestre del año 2000 por la contaminación del agua de consumo y/o alimentos, después del evento hidrometeorológico de 1999. Adicionalmente, Barrientos, Méndez, Ruíz, Perdomo e Iztúriz (2007) determina-

ron las concentraciones de los metales mayoritarios y trazas en las aguas de las QO y QPA, donde el aluminio, hierro y mercurio alcanzaron los máximos valores permisibles para aguas de consumo humano en la segunda de las quebradas. Los contenidos de bario, zinc, cobre, y estroncio, no superaron las concentraciones máximas en sus valores promedio, pero si lo hicieron para algunas concentraciones puntuales durante el muestreo periódico. Por lo tanto, los valores máximos y promedios alcanzados para estos metales, representan niveles de riesgo químico y sanitario para las comunidades que dependen de estos recursos hídricos. Se reportó por primera vez la presencia de bario y estroncio para los cuerpos de agua estudiados, así como mercurio metálico. Las fluctuaciones anuales en las concentraciones de estos metales en los dos cursos de agua, estuvieron influenciadas principalmente por el régimen pluviométrico, los procesos de meteorización físico-química y los posibles aportes antrópicos por la actividad agrícola, entre otras.

Posteriormente, Perdomo (2010); Perdomo, Barrientos y León (2011, 2012) y Perdomo y Barrientos (2013) en estudios de evaluación ambiental sobre el riesgo químico asociado al uso y manejo de fertilizantes en la cuenca de la QPA sector Hoyo de la Cumbre, establecieron el estado de la eutrofización del agua de riego, las implicaciones sobre el cultivo de hortícolas de consumo crudo, comercializadas tanto en el Dtto. Capital como en el estado Vargas y comunidades aledañas.

Otras investigaciones se han realizado también en la vertiente sur del Parque Nacional "El Ávila", al norte de Caracas, entre éstas los de Urbani (1977) que determinó los niveles base de los elementos cobre, plomo y zinc en los sedimentos de la zona, en la vegetación herbácea conocida como gamelote y en las aguas de 24 quebradas desde Maripérez hasta la urbanización Miranda. Los resultados indicaron la presencia de dos subáreas geoquímicamente distintas al este y al oeste de la quebrada Chacaíto respectivamente; para las muestras de agua se encontraron correlaciones altas entre las variables por ejemplo entre SiO_2 y HCO_3^- , y altos valores de plomo (Pb), en el gamelote de la quebrada mencionada y menores concentraciones en los sedimentos. Igualmente, Hidalgo (1998) analizó las aguas y los suelos de la quebrada Chacaíto, y determinó elementos químicos mayoritarios tales como el sodio, potasio, calcio y magnesio.

Durante la presente investigación se re-evaluaron las QO y QPA, donde están ubicados dos acueductos rurales, para aportar nueva información sobre las contenidos actuales de los metales mayoritarios, minoritarios y trazas, con la finalidad de establecer la capacidad de auto-regulación, auto-recuperación, equilibrio, amortiguamiento o resiliencia, por las altas tasas de erosión, los procesos de remoción en masa, la pérdida del suelo y de la cubierta vegetal, que afectaron al a los recursos hídricos presentes

y al ABRAE después de los eventos hidrometeorológicos extraordinarios ocurridos.

Sin lugar a dudas, las lluvias extraordinarias y los aludes torrenciales ocurridos en diciembre de 1999 y febrero de 2005 en Venezuela, causaron altas tasas de erosión y movimientos en masa en las cuencas de drenaje particularmente en el estado Vargas, que activaron posteriormente procesos de meteorización en los sustratos de roca ahora expuesto en muchas de las vertientes y lixiviación de los suelos, incrementando así los contenidos de sólidos totales. Como resultado de esos eventos, es de esperar, que los metales mayoritarios, minoritarios y trazas presentes tanto en las aguas superficiales como subterráneas, hayan alcanzado concentraciones muy superiores a las que pudieron haberse registrado en años anteriores al evento de 1999 (Barrientos y colaboradores, 2007).

Otros impactos causados por las lluvias torrenciales mencionadas fue en el funcionamiento de los servicios públicos, por el colapso del suministro de agua potable en el estado Vargas, que condujo a ciertos sectores de la población a utilizar las aguas superficiales de las QO y QPA, particularmente en las parroquias La Guaira y Maiquetía, entre otras, para el abastecimiento sin tomar en cuenta las condiciones de potabilidad y de calidad de las mismas para el consumo humano. La problemática ambiental antes mencionada continuó después del período postdesastre y actualmente esta práctica de uso del agua, se ha convertido en recurrente con riesgos hídricos químicos para la salud de las comunidades afectadas.

Ante los planteamientos expuestos, la investigación abordó algunas preguntas, que orientaron el desarrollo y los logros en los objetivos propuestos:

- ¿Cuál será la calidad del agua en relación con los acueductos rurales estudiados durante los años 2006-2007?
- ¿La reevaluación hidroquímica de las aguas superficiales de las QO y QPA, podría demostrar las comunidades continúan siendo vulnerables, al riesgo hídrico químico por el consumo de agua cruda, en consecuencia se mantiene la falta de control sanitario y vigilancia ambiental, por parte de los afectados y los entes gubernamentales del sector hidrológico?

La investigación tuvo como propósito reevaluar la calidad del agua de las QO y QPA, debido al consumo humano de agua cruda, proveniente de dos acueductos rurales, generadores de riesgos hídricos químicos para la población y la calidad ambiental. Los objetivos específicos desarrollados fueron:

- Determinar "In Situ" los principales parámetros físicos del agua: tales como la temperatura, la conductividad específica, los sólidos totales

disueltos, y temperatura ambiental en las QO y QPA, estado Vargas, durante los períodos Julio-Agosto 2006 y Enero- Febrero 2007.

- Determinar los parámetros químicos del agua "In Situ" y en el laboratorio como la alcalinidad total, oxígeno disuelto, dureza cálcica, magnésica y total, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, nitratos, nitritos, ortofosfatos y fósforo total en las muestras de agua recolectadas para ambos cursos de agua.
- Establecer las concentraciones de los metales mayoritarios y trazas como parte de caracterización hidroquímica de los cuerpos de agua mencionados, utilizados como acueductos rurales por parte de la población de los sectores altos de las parroquias La Guaira y Maiquetía, en los puntos de muestreo seleccionados.

La presente investigación fue financiada por FONACIT como parte de los proyectos de investigación: UPEL S1 N° 2000000648 "Campaña Educativa Comunidad-Escuela para la Prevención de Desastres Socionaturales Asociados a las Cuencas de los Ríos Osorio y Piedra Azul, estado Vargas y UPEL N° 09-083 "Riesgo químico comunitario asociado a dos cuerpos de agua superficiales Estado Vargas, Venezuela" en las líneas de investigación "Aguas Naturales" (N° 98-020) y "Gestión y Educación para la Mitigación y Reducción del Riesgo y el Desastre" (N° 02-001), adscritas al Centro de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano" UPEL-IPC.

2. Características generales del área de estudio

2.1. Ubicación geográfica y localización geoastronómica

Las cuencas de drenaje de las QO y QPA, se ubican geográficamente en la región centro norte del territorio venezolano, específicamente en el sector centro occidental del estado Vargas, al Sur del Puerto de La Guaira, y definidas geoastronómicamente en conjunto por las siguiente coordenadas: 10°32'45" - 10°36'25" LN y 66°53'15" - 66°57'10" LO (Figura 1).

2.2. Aspectos geológicos y geomorfológicos

Según la nomenclatura propuesta por Urbani, Rodríguez y Vivas (2000). El área de estudio afloran las siguientes unidades litodémicas:

1. Asociación Metamórfica Ávila: En donde predominan rocas feldespáticas y granítica, constituida por el Complejo San Julián (esquistos y gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo, con contenidos minoritario de mármoles, cuarcita, metaígneas máficas: anfíbolita, gabro, diorita, tonalita y granodiorita. Otras litologías minoritarias son cuarcita, epidocita, cloritocita y esquistos anfibólico (Méndez, 2001) y el Augengneis

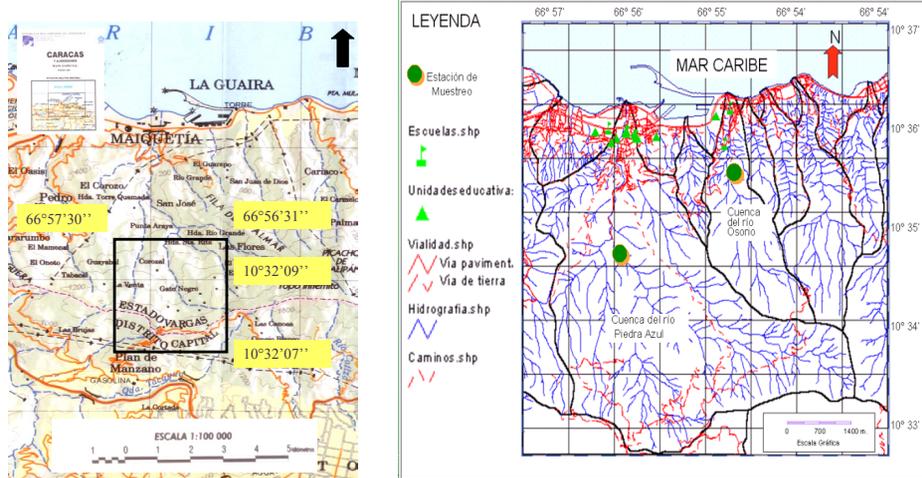


Fig. 1. Ubicación del área de estudio. (Fuente: MapSource versión 3.2)

de Peña de Mora (Augengneis, capas de cuarcita, diques de aplitas, lentes de mármoles, esquistos.

2. Asociación Metamórfica la Costa: Conformada por el Esquisto de Tacagua, Serpentinias y la Anfibolita de Nirgua. (Figura 2).

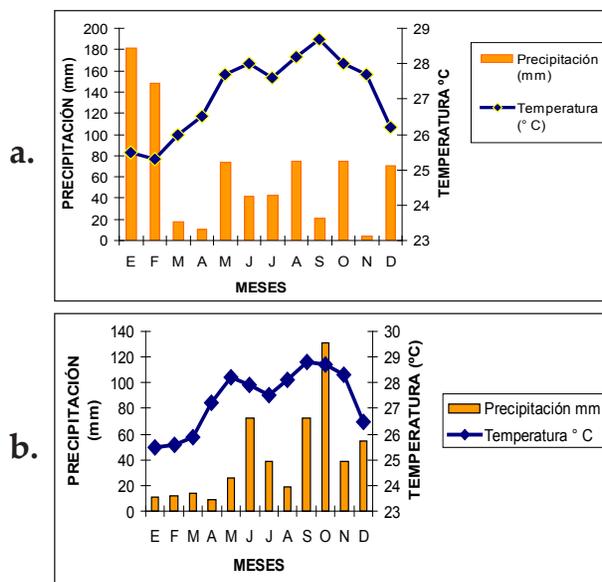


Fig. 2. a.- Temperatura promedio y precipitación mensual de la estación climatológica Aeropuerto- Maiquetía, estado Vargas 2006. Tomado de «SEMEFAV» b.- Temperatura promedio y precipitación mensual de la estación climatológica Aeropuerto- Maiquetía, estado Vargas 2007. Tomado de «SEMEFAV»

La composición mineralógica presente en cada uno de los litodemos esta representada por minerales tales como: la actinolita ($\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[(\text{OH}, \text{F})/\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$), epidoto $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$, hornblenda ($(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_{2-3}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{F}, \text{Al})_5[(\text{OH}, \text{F})_2/(\text{Si}, \text{Al})/\text{Si}_6\text{O}_{22}]$) y tremolina ($\text{H}_2\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5(\text{SiO}_3)_8$), presentes fundamentalmente en los esquistos y gneises cuarzo-plagioclásicos-micáceos del Complejo San Julián (Ostos, 1981; Hurlbut, y Klein, 1985 y Urbani, 2002).

Según González de Juana (1980), el sector de estudio pertenece al Sistema Montañoso de la Cordillera del Caribe, que se extiende desde la depresión de Barquisimeto al oeste hasta el extremo oriental de la Península de Paria. Se divide en dos subsectores los cuales están al este y el Golfo de Barcelona y la Punta Barrigón en Araya al oeste.

El sistema occidental, denominado también Sistema Orográfico Central, está compuesto por dos elementos tectónicos y fisiográficos, los cuales están marcados por una hendidura axial que sigue el curso de la falla de La Victoria.

La Cordillera de la Costa se presenta en forma rectilínea entre Puerto Cabello y Cabo Codera, con elevaciones topográficas como el Pico "Naiquata" con 2.765 m de altura, situado en la Sierra del Cerro "El Ávila"; considerado como una elevación tectónica del tipo "horst" entre el sistema de fallas del Caribe al sur y las fallas de El Ávila al norte.

El abanico de la QO posee un área de 17,8 Ha, presenta un recorrido de 5 Km, con un desnivel de 1,3 Km, hasta alcanzar el mar y QPA, tiene una longitud de 9 Km, lo cual determina una pendiente promedio de cauce de 17,3%, con una área de 248 Km² con una superficie de 25,6 Ha (Suárez e Iztúriz, 2002).

2.3. Aspectos Climáticos

La Cordillera de la Costa presenta una elevación topográfica de 2.700 m de altitud, próximo al mar y con los vientos alisios paralelos al borde del litoral, que determinan un clima seco, en las partes topográficamente más bajas y una pluviosidad alta en las partes elevadas de la cordillera (Sleyermark y Huber, 1978).

En cuanto al régimen pluviométrico, en la estación Aeropuerto-Maiquetía del estado Vargas, se presentó un promedio de precipitación total, durante el 2006 de 63,25 (mm) y de temperatura 27,11 (°C) (Figura 2a).

En cuanto al período 2007, en la estación Aeropuerto-Maiquetía, se presentó una ligera disminución del monto promedio anual de precipitaciones de 41,55 (mm) y de temperatura un promedio anual de 27,35 (°C) (Figura 2b).

La influencia de los vientos del norte, los cuales tienen su origen en masas de aire frío desde el hemisferio septentrional, da lugar mayormente a lluvias intensas y torrenciales, que son capaces de realizar un gran trabajo geomorfológico (Grases, Amundaray, Malaver, Feliziani, Francesca y Rodríguez, 2000).

En las cuencas de las QO y QPA presentan un clima modificado por efectos de la altitud, desde semi-árido en las franjas costeras septentrionales, hasta un clima con presencia de niebla en los topes orográficos cerca de los 2.000 m (Suárez e Iztúriz, 2002).

2.4. Hidrografía

La QO y QPA, poseen cuencas hidrográficas con superficies de 4,6 Km² y 24,8 Km² respectivamente. Los afluentes de las cabeceras de la QPA, tiene como tributarios a las siguientes quebradas Santa Rita, Dos Ríos, Fortique, Las Flores y las Dos Aguadas; estas dos últimas que drenan en el río Grande (González y Rodríguez, 2001; Vera y Rojas, 2009), se originan en la fila maestra del Macizo El Ávila, la cual se encuentra en una elevación de 1.700 m, para QO y 1.950 m para QPA (Hernández, 2000).

Estas dos quebradas se caracterizan por su corto recorrido, 5 Km para QO y 9 Km para QPA, presentan poco caudal y agua durante todo el año, aumentándolo en los períodos de lluvias, ambos cursos de agua mantienen un caudal superficial mientras fluyen sobre rocas y en el recorrido desaparecen, cuando escurren sobre el relleno aluvial del valle, donde corren subterráneamente debido a la mayor permeabilidad de estos materiales (Suárez e Iztúriz, 2002).

2.5. Vegetación

La vertiente norte de la serranía del Litoral tiene una capa vegetal heterogénea, la cual se encuentra integrada por formaciones arbóreas, arbustivas y herbáceas, cuya influencia varía por los procesos erosivos, según el grado de protección del suelo, favoreciendo o no los movimientos en masa o la acción de la escorrentía.

En el área de estudio, la formación vegetal dominante es del tipo bosque tropófilo y caducifolio, el cual corresponde al piso altitudinal transición premontano-montano bajo. El paisaje fisiográfico se encuentra representado por penillanuras y montañas con intervención moderada en la formación vegetal (MARNR, 1983).

2.6. Suelos

La preponderancia de rocas esquistosas y gneissicas en las montañas de "El Ávila", "La Silla" y de "Naiquatá" condicionan la formación de suelos

fundamentalmente ácidos, debido al muy bajo contenido de calcio en las rocas pedogenéticas.

Pocos estudios sobre la caracterización pedogenética se han realizado en las cuencas de las quebradas QO y QPA. Sin embargo, tomando en cuenta estudios de suelo hechos en otras partes de la Cordillera de la Costa, en condiciones similares puede deducirse que los suelos bajo de selva nublada pertenecen al orden de los inceptisoles ácidos, también llamados suelos forestales marrones por su coloración generalmente marrón clara y su textura franca o franco-arcillosa. El contenido de humus en el horizonte superior de estos suelos es generalmente elevado (Sleyermark y Huber, 1978).

2.7. Aspectos Socio-Económicos

Según el censo de 2000 realizado por la Oficina Central de Estadística e Informática, la población total del Estado Vargas fue de 230.566 habitantes. La Parroquia Maiquetía contabilizó 55.109 habitantes, que representa el 24% y la Parroquia de La Guaira con 15.518 habitantes, que representó el 7% de la población total del estado. Las parroquias mencionadas incluyen a las áreas de estudio.

En el Estado Vargas se encuentra el principal puerto y aeropuerto del país. Las actividades económicas más importantes están representadas por las comerciales, el transporte de productos vía aérea y marítima, turística, pesquera y a menor escala la agricultura y la explotación de canteras.

3. Metodología

Por el alcance de los objetivos planteados en la investigación, esta fue del tipo proyecto factible, porque representó el desarrollo viable para solucionar problemas sociales en las comunidades (UPEL, 2006). En la misma, se analizó y evaluó las condiciones hidroquímicas del agua de dos acueductos rurales y destinadas al consumo humano en las comunidades ubicadas en la parte alta de las parroquias La Guaira y Maiquetía del estado Vargas.

La información se obtuvo mediante un estudio de campo, con carácter descriptivo e interpretativo, ya que se realizó un estudio sistemático de la calidad del agua, posible riesgo hídrico químico y potenciales efectos sobre la salud de la población involucrada. La investigación también fue del tipo documental, por los apoyos referenciales consultados, como "información, datos estadísticos y de campo, divulgados por medios impresos, audiovisuales y electrónicos (ob. cit).

El enfoque cuantitativo y experimental de la investigación, se sustentó en el análisis de los parámetros físico-químicos del agua proveniente de dos acueductos rurales, se determinó la calidad y los posibles niveles de riesgo para la salud de las comunidades estudiadas.

La investigación comprendió las fases siguientes con sus respectivas actividades:

- **Fase I.** Involucró la recolección periódica de muestras de agua, durante el período julio-agosto 2006 y enero-febrero 2007, en los puntos seleccionados para su captación. La Estación I, en la QO (manguera de aducción) ubicada en las coordenadas 10°35'31" LN y 66°55'47" LO y a una altitud de 182 msnm. La estación II, de la QPA, (dique de almacenamiento), se localiza en las coordenadas: 10°34'30" LN y 67°57'00" LO a 213 msnm (Figura 1), en las cuencas bajas.

Se utilizaron envases plásticos de 250 mL de capacidad para la recolección de muestras de agua superficial; para las determinaciones de metales, se acidularon con HNO₃ concentrado y fueron refrigeradas según COVENIN (1982). Igualmente se midieron "in situ" los parámetros físico-químicos del agua, tales como: temperatura del agua por sonda térmica, conductividad específica (25° C) con un conductímetro *Lamotte*, sólidos totales disueltos (STD) por conductimetría, pH, con un pHmetro *Methron Herisau*, y la temperatura ambiental con un termómetro de mercurio.

- **Fase II.** Los parámetros químicos se realizaron mediante las técnicas de titulación colorimétrica fueron: oxígeno disuelto (Lavestu, 1965); cloruros (APHA, 1985), alcalinidad total (Goltermam, Clyno, y Ohnstad, 1978), dureza cálcica, magnésica y total (Carrillo y Marciales, 1998).

Las concentraciones de los metales se obtuvieron según APHA (1985), mediante las siguientes técnicas: Espectroscopia de absorción atómica con llama para calcio y magnesio; espectroscopía de emisión atómica con llama para el sodio y el potasio; y espectrometría de masa con plasma inductivamente acoplado para el aluminio, hierro, bario, manganeso y estroncio, con el empleo de un espectrómetro ICP-MS, marca *Perkin-Elmer*, modelo ELAN 6000. Para el mercurio se empleó la técnica de espectroscopia de absorción atómica por vapor de frío y se utilizará un espectrómetro marca *Perkin-Elmer*, modelo FIMS. Los nitratos se determinaron por el método espectrofotométrico según APHA (1985). Los análisis de los metales se realizaron en el Centro de Química Analítica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.

- **Fase III.** Para la determinación de nitratos, nitritos, en las muestras de agua fueron analizadas por colorimetría según APHA (1985) y por elec-

trodo selectivo los ortofosfatos, en el Centro de Química Analítica de la Universidad Central de Venezuela.

- **Fase IV.** El análisis estadístico de los datos obtenidos, se estableció mediante el coeficiente de variación considerando el cálculo de balance entre cationes y aniones de Custodio y Llamas (1983), del 10% para valores de conductividades específicas $\geq 200 \mu\text{mohm/cm}$. Se obtuvieron los principales parámetros de estadística descriptiva (media, coeficiente de variación, valor máximo, mínimo y desviación *standard*). El coeficiente de correlación de Spearman se aplicó mediante el programa estadístico SPSS versión 17.

4. Resultados

4.1. Parámetros físicos

La reevaluación física de las QO y QPA ratifica a sus aguas como hipotermales y de mineralización intermedia con conductividades eléctrica de 675 y 535 $\mu\text{ohms/cm}$ respectivamente (Tabla 1). Las variables descritas no cambian la categorización anterior (Barrientos y colaboradores, 2007); aunque en el presente estudio los valores de conductividad eléctrica aumentaron 1,75 veces para QO así como los sólidos totales disueltos promedio de 455 mg/L (1,69 orden de magnitud) con respecto al muestreo 2001-2002. Para la QPA los STD promedio fueron 374, 5 mg/L con un incremento (orden de magnitud de 1,16) en relación al estudio previo.

Según Grases y colaboradores (2000), la QPA, es la segunda cuenca hidrográfica más grande del estado Vargas, en cuanto al área que ocupa de 24,8 km^2 ; tiene una longitud del cauce (8,7 km) y un estimado del caudal máximo de 278 m^3/seg ; por el contrario la cuenca de la QO tiene una menor área (4,6 km^2) posee un cauce de menor longitud (4 km) y el caudal máximo estimado es de 101 m^3/seg , QPA, pero de mayor cambio de pendiente. Quizá esta última variable morfométrica, podría explicar parcialmente el incremento en la cantidad de sólidos totales disueltos promedio en el período 2006-2007 en relación al muestreo 2001-2002.

La revisión aerofotográfica y las imágenes de satélite *Google Earth* en la cuenca alta-media de la QO para los años 2006-2007, mostró desarrollos agrícolas inexistentes en el período 2001-2002. También el tránsito de materiales heterométricos provenientes de esas zonas de la cuenca, como remanentes de eventos hidrometeorológicos extraordinarios o normales anteriores, pudieran explicar una mayor actividad y el transporte de sedimentos a lo largo del sistema en esta cuenca y el correspondiente aumento de la conductividad eléctrica y los STD. Para el caso de la QPA, el ligero incremento en los valores de conductividad eléctrica y los STD para el período estudiado con respecto al año 2001-2002, confirmaría que

los desarrollos agrícolas de Hoyo de la Cumbre y sus aportes de sólidos totales, podrían presentar una tendencia a la estabilización en cuanto a la escorrentía y la erosión de los suelos.

En vista que ambos cursos de agua son utilizados como acueductos rurales por los habitantes de las parroquias Maiquetía y La Guaira en la cuenca baja, los valores promedio y máximos de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, no superaron, los límites máximos permisibles para el agua de consumo, que oscilan entre 50 -500 μ ohms/cm (De Zuane, 1990) y 1000 mg/L (COVENIN, 1982; MSAS, 1998).

Tabla 1. Parámetros Físico-Químicos y Especies Químicas de las Aguas de las Quebradas Osorio y Piedra Azul, Estado Vargas (Período 2006-2007) (n=4)

Parámetros/Especies químicas	Valor máximo		Valor mínimo		Promedio		Desviación estándar		Coeficiente de Variación (%)	
	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA
Temperatura ambiente (°C)	30	33	28	28	29	30	0,8	2,1	2,8	7,2
Temperatura del agua (°C)	27	25,2	24,8	22,1	26,2	23,6	1,2	1,7	4,8	7,3
Conductividad eléctrica (μ ohms/cm)	800	560	500	500	675	535	173,2	30	25,6	5,6
Sólidos totales disueltos (mg/L)	560	392	350	350	455	374,5	87,4	21	19,2	5,6
pH	7,48	7,4	7	7	7,2	7,2	0,2	0,1	2,8	2,3
Alcalinidad total (mg/CaCO ₃ /L)	293	230	192	203	242,5	246,2	25,6	36,2	10,5	14,7
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,3	1,4	0,4	1,4	0,85	6,8	0,4	0,41	49,8	2,0
Dureza cálcica (mg/CaCO ₃ /L)	530	380	167	150	348,5	265	153,6	107,2	44,0	40,4
Dureza magnésica (mg/CaCO ₃ /L)	128	80	-210	-136	-41	-28	149,4	93,7	364,4	334,8
Dureza total (mg/CaCO ₃ /L)	552	244	320	200	436	222	141,8	21,0	32,5	9,4
Cl ⁻ (mg/L)	35,82	23,67	24,81	3,97	26,94	12,87	6,2	8,7	23,0	67,9
SO ₄ ⁻² (mg/L)	28	77	20	12	24,25	46,25	3,3	33,5	13,6	72,5
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	243,6	336	230,4	303,6	295,4	261	30,7	43,4	10,4	16,6

Fuente: Quebrada Osorio (IA) Quebrada Piedra Azul (IIA)

4.2. Parámetros químicos

El pH promedio de las aguas neutras 7,2 en las dos estaciones de muestreo durante el presente estudio. Estos valores de pH promedio tanto en la QO y QPA para el período 2006-2007, difirieron de los promedios reportados para el período 2001-2002, donde estos alcanzaron promedios de para 8,05 QO y 8,22 QPA; probablemente relacionados con menores niveles de demanda biológica de oxígeno y por lo tanto baja actividad bacteriana o procesos de óxido-reducción. En el presente estudio el valor de pH obtenido en las aguas indicó ambientes con mayor actividad bacteriana y probablemente con mayor reducción.

Este parámetro presentó muy poca fluctuación durante este estudio (Tabla 1); a diferencia del muestreo 2001-2002 con pH básicos promedio de 8,05 para QO y 8,22 para QPA relacionado con menores niveles de de-

manda biológica de oxígeno y por lo tanto baja actividad bacteriana o procesos de óxido-reducción.

Los valores de alcalinidad total ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), promedio en la QO fue de 242,5 mg CaCO_3/L y 246,25 mg CaCO_3/L en la QPA con cambios de pH en las aguas superficiales a neutras en ambas quebradas, durante esta re-evaluación. Este cambio en la capacidad tampón o buffer del agua podría ser el producto del aumento de la concentración de la materia orgánica proveniente de ambos cursos de agua, en las cuencas altas y medias o una mayor actividad descomponedora por parte de microorganismos. Para los ríos Caruao y Aguas Calientes, en el estado Vargas (Urbani, 1969) reportó valores bajos de alcalinidad total, que oscilaron entre 24 y 28 mg CaCO_3/L , a diferencia de los encontrados en el presente estudio.

En la QO, la alcalinidad total con respecto a los bicarbonatos, la dureza cálcica y magnésica mostraron coeficientes de correlación directa altamente significativas ($r = 1,000$), ($r = 0,993$) y ($r = -0,613$) respectivamente.

Para la QPA, la alcalinidad total en relación a los bicarbonatos, la dureza cálcica y magnésica están muy correlacionados entre sí, con coeficientes de correlación lineal positiva ($r = 1,000$), ($r = -0,706$) y ($r = 0,587$) en cada caso.

En cuanto a la dureza cálcica los valores promedio para la QO fueron 348,5 mg CaCO_3/L que las clasifica como aguas muy duras y para la QPA de 265 mg CaCO_3/L en el rango de aguas duras según De Zuane (1990) (Tabla 1). El valor de dureza cálcica para la QO máximo fue 530 mg CaCO_3/L en julio 2006; y para la QPA alcanzó un valor máximo de 380 mg CaCO_3/L en el mismo período.

Considerando que ambos cursos de agua, son utilizados como acueductos rurales por los habitantes de las parroquias La Guaira y Maiquetía en la parte alta, los valores de dureza total determinada tanto promedio como máximas, no superaron el límite permisible de 500 mg/L, que contempla la norma COVENIN (1982) y el MSAS (1998), para aguas de consumo humano.

Los valores promedio de sulfatos para la QO fueron 24,25 mg/L y para la QPA 46,25 mg/L en el lapso 2006-2007 (Tabla 1). La QO mostró su máxima concentración de sulfatos, en febrero 2007 (28 mg/L) y su mínima en julio 2006 (20 mg/L), con un aumento progresivo entre ambos muestreos. En la QPA el mayor valor se presentó en agosto 2006 (77 mg/L) y el menor en febrero 2007 (12 mg/L). En comparación con la data 2001-2002, las concentraciones promedio de sulfatos (33,8 mg/L) en QO y (54,74 mg/L) en QPA siendo mayores que para el muestreo 2006-2007. En el caso de este último período los incrementos de sulfatos en el agua de río son una consecuencia directa de los aportes pluviales, especialmente para el año 2006.

Urbani (1969) determinó contenidos bajos de sulfatos en el río Caruao (6 mg/L), 2,40 mg/L en el río Aguas Calientes y 39 mg/L para el río Chichiriviche en el estado Vargas; estos últimos valores estarían en el rango de los reportados en el presente estudio.

En la QO, los sulfatos presentaron una correlación lineal positiva altamente significativa con ortofosfatos, dureza magnésica y dureza total ($r = 0,97$; $r = 0,94$; $r = 0,70$), en relación inversa con la muy significativa temperatura del agua, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cloruros y pH ($r = -0,89$; $r = -0,78$; $r = -0,75$; $r = -0,73$ y $r = -0,67$). Los sulfatos para la QPA presentaron una correlación lineal positiva altamente significativa con la temperatura del agua ($r = 0,99$), y medianamente significativa con la dureza magnésica ($r = 0,50$), y en relación inversa muy significativa negativa con el pH ($r = -0,90$).

Siguiendo los criterios de salinidad relevantes que plantean Ryding y Rast (1992) y estando los rangos de sulfatos para ambos cursos de agua <100 mg/L tanto en sus valores promedio como en los máximos, se le adscribiría un criterio de 1 (óptimo) en el nivel de calidad, para los posibles usos del agua.

En vista de que ambos cursos de agua son utilizados como acueductos rurales por los habitantes de las parroquias Maiquetía y La Guaira en la parte alta, el valor de sulfatos determinado tanto promedio como máximos, no superó el límite máximo de 250 mg/L, que contempla la norma COVENIN (1982) y de 500 mg/L para MSAS (1998).

4.3. Tipos de agua

La composición química del agua en relación con sus iones mayoritarios es catiónica magnésica-cálcica-sódica a potásica durante el muestreo 2006-2007 (Tabla II). La composición aniónica:

De acuerdo a lo antes expuesto esta agua se clasifican como bicarbonatadas según las siguientes proporciones: Quebrada Osorio: $\text{HCO}_3^- >>>>>>>>>>$
 $\text{Cl}^- >\text{SO}_4^-$ y Quebrada Piedra Azul: $\text{HCO}_3^- >>>>>>\text{SO}_4^- >>>\text{Cl}^-$

4.4. Metales mayoritarios, minoritarios y trazas

Las concentraciones de los metales mayoritarios, minoritarios y trazas obtenidas en las dos estaciones de muestreo, correspondientes con la ubicación de los acueductos rurales, en las QO y QPA para el período 2006-2007 se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones de los Metales Mayoritarios, Minoritarios y Trazas en las aguas de las Quebradas Osorio (IA) y Piedra Azul (IIA) (Período 2006-2007)

Especies químicas (mg/L)	Valor máximo		Valor mínimo		Promedio		Desviación estándar		Coeficiente de variación	
	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA	IA	IIA
Ca ⁺⁺	16.68	7.10	6.6	6.64	10.85	6.87	4,8	0,21	2,25	32,71
Mg ⁺⁺	27.83	14.48	15.78	12.44	23.43	13.41	5,4	0,84	4,33	15,96
Na ⁺	7.23	1.60	6.50	1.40	6.27	1.49	1,3	0,08	4,82	18,62
K ⁺	3.39	0.28	0.26	0.26	1.102	0.27	1,32	0,008	0,834	33,75
Al ⁺⁺⁺	0.20	0.05	0.01	0.01	0.08	0.02	0,08	0,017	1,031	1,17
Fe ⁺⁺	0.58	0.26	0.07	0.05	0.32	0.13	0,26	0,10	1,23	1,3
Ba ⁺⁺	0.031	0.023	0.012	0.021	0.02	0.022	0,008	0,0008	2,5	27,5
Mn ⁺⁺	0.060	0.015	0.014	0.005	0.036	0.008	0,019	0,004	1,89	2
Sr ⁺⁺	0.390	0.321	0.220	0.294	0,322	0.308	0,076	0.014	4,23	22

Fuente: Quebrada Osorio (IA) Quebrada Piedra Azul (IIA)

Durante el presente estudio los valores promedio para los metales alcalinotérreos: calcio, magnesio, sodio y potasio, en la QO duplicaron sus concentraciones con respecto a las obtenidas para la QPA. La mencionada tendencia fue la opuesta durante el muestreo 2001-2002 (Barrientos y colaboradores, 2007), siendo el calcio el elemento mayoritario en ambos puntos de muestreo. Por el contrario, el magnesio representó el elemento mayoritario durante el estudio 2006-2007, con valores promedio de 23,43 mg/L en QO y 13,41 mg/L para QPA.

La presencia de estos elementos químicos guarda relación con la composición mineralógica de los litodemos que afloran en el área de las cuencas, con una litología predominante constituida por esquistos y gneises cuarzo-plagioclásico-micáceos del Complejo San Julián, cuya mineralogía mayoritaria está representada por albita, oligoclasa, actinolita, epidoto, cuarzo, anfíboles y carbonatos (Urbani y Ostos, 1989) (Tabla 3). Según Mottana, Crespi y Liborio (2003) mencionan a otras especies mineralógicas como dominantes en la litología de las cuencas de drenaje de las QO y QPA como son la biotita, la clorita, la hornblenda y la tremolita, que aportan por alteración química al magnesio, potasio, calcio y sodio. Particularmente este último elemento alcanzó en QO valores muy bajos en el presente muestreo (6,27 mg/L) con respecto al período 2001-2002 (31,48 mg/L) y QPA 1,49 mg/L (2006-2007) con respecto a 23,73 mg/L (2001-2002).

Considerando que ambos cursos de agua son utilizados como acueductos rurales por los habitantes de las parroquias Maiquetía y La Guaira en la parte alta, el valor de calcio determinado tanto promedio como máximos, no superó el límite máximo de 200 mg/L, que contempla la norma COVE-

NIN (1982). Esta especie química no está incluida en la norma del MSAS (1998), en cuanto a los componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable.

Tosiani (2008) presenta una revisión sobre los posibles efectos de Ca^{++} , Mg^{++} y Se, que por su poca abundancia, en algunas regiones del mundo, han causado riesgos en la salud de las poblaciones y reporta como áreas vulnerables aquellas donde los niveles de calcio presentes en el agua, sean $< 31 \text{ mg/L}$, con base a un estudio realizado en Suecia (Rubenowitz, Axelsson y Rylander, 1996). Según este último criterio las aguas de la QO y QPA por su bajo contenido de calcio promedio, pudieran representar potencialmente niveles de riesgo químico hídrico para quienes las consuman. Los otros elementos mayoritarios: magnesio, sodio y potasio se encuentran dentro de los límites permisibles de ambas normas para aguas de consumo humano. Por su parte Barrientos, Perdomo, León González y González (2012), determinaron en la cuenca alta de la QPA, concentraciones de calcio que oscilaron entre 25 y 95 mg/L; lo que indica un posible enriquecimiento de origen antrópico por la actividad agrícola.

En relación a la composición de las aguas superficiales, en las QO y QPA en cuanto a las especies químicas minoritarias y trazas, se encontró, que el orden de abundancia, correspondió primeramente al Sr e Fe, los cuales alcanzaron valores promedio de 0,322 mg/L y 0,308 mg/L respectivamente; continúan en orden de menor concentración Al, Mn y Ba en QO; mientras que en QPA el Ba tuvo un valor similar con respecto al Al y por último el Mn (Tabla II). Por el contrario, para el período 2001-2002, las relaciones de concentración de los elementos químicos mencionados fue totalmente distinta; siendo el Al el más abundante en ambas cuencas, seguido del Fe y en tercer lugar el Sr en QPA. En esa oportunidad el Ba fue la segunda especie química dominante en QO pero en el 2006-2007 fue la que alcanzó la menor concentración promedio de 0,020 mg/L. Igualmente en la QO, el Fe superó el máximo permisible de la norma COVENIN (1982) de 0,3 mg/L tanto en su concentración promedio de 0,32 mg/L como en un máximo anual de 0,58 mg/L. Igualmente se encontraron en la cuenca alta QPA, valores que oscilaron entre 0,37 y 0,92 mg/L (Barrientos y colaboradores, 2012).

El manganeso alcanzó como valor promedio 0,036 mg/L para QO y 0,008 mg/L en la QPA (Tabla II); siendo estos valores muy superiores a los reportados en el muestreo 2001-2002, de 0,01 mg/L QO y 0,008 mg/L en QPA. En ninguno de los estudios presentados se superó el máximo permisible de 0,30 mg/L, presente en la normativa nacional para agua potable.

Las fuentes de origen de los metales minoritarios y trazas Al, Fe y Mn, están asociadas a la litología presente en las áreas de estudio, representada por esquistos cloríticos, actinolíticos, y gneises cuarzo-plagioclásico-micáceos

del Complejo San Julián (entre otras rocas con predominio de minerales como: actinolita $(Ca_2(Mg, Fe)_5[(OH, F)/Si_4O_{11}]_2)$; almandino $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$; biotita $K(Mg, Fe, Mn)_3[(OH, F)_2/AlSi_3O_{10}]$; epidoto $(Ca_2, FeAl_2[O/OH/SiO_4/Si_2O_7])$, hornblenda $((Ca, Na, K)_{2-3}(Mg, Fe, F, Al)_5[(OH, F)_2/(Si, Al)/Si_6O_{22}])$, tremolita $(H_2Ca_2(Mg, Fe)_5(SiO_3)_8)$, clorita $([H_2(Fe, Mg, Mn)Al_2SiO_7])$, turmalina $(Al_3B_2(OH)_2Si_4O_{19})$; muscovita $KAl_2[(OH, F)_2/AlSi_3O_{10}]$ oligoclasa $(Na, Ca) [Al(Al, Si)_{2-8}]$ pirolusita (MnO_2) y zoisita $Ca_2(Al, Fe)_3(OH)(SiO_4)_3$ (Ostos,1981; Hurlbut, y Klein, 1985 y Urbani, 2002; Mottana, Crespi y Liborio, 1999) (Tabla III).

Tabla 3. Principales iones removibles por procesos de disolución, de las especies minerales dominantes en la litología de las cuencas de drenaje de las quebradas Piedra Azul y Osorio

Mineral	Fórmula	Iones solubles	Frecuencia
Actinolita	$Ca_2(Mg, Fe)_3[(OH, F)/Si_4O_{11}]_2$	Ca, Mg, Fe	Muy común
Albita	$Na(AlSi_3O_8)$	Na	Común
Almandino	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	Fe, Al	Común
Apatito	$CaPO_4$	Ca	Muy común
Biotita	$K(Mg, Fe, Mn)_3[(OH, F)_2/AlSi_3O_{10}]$	K, Mg, Fe, Mn	Muy común
Calcita	$CaCO_3$	Ca	Muy común
Celestina	$SrSO_4$	Sr	Raro
Clorita	$H_2(Fe, Mg, Mn)Al_2SiO_7$	Fe, Mg, Mn, Al	Común
Esfena	$CaTiSiO_5$	Ca, Ti	Común
Estroncionita	$SrCO_3$	Sr	Muy raro
Epidoto	$Ca_2, FeAl_2[O/OH/SiO_4/Si_2O_7]$	Ca, Fe, Al	Común
Hornblenda	$(Ca, Na, K)_{2-3}(Mg, Fe, Al)_5[(OH, F)_2/(Si, Al)/Si_6O_{22}]$	Ca, Na, K, Mg, Fe, Al	Muy común
Muscovita	$KAl_2[(OH, F)_2/AlSi_3O_{10}]$	K, Al	Muy común
Oligoclasa	$(Na, Ca) [Al(Al, Si)_{2-8}]$	Na, Ca, Al	Muy común
Tremolita	$H_2Ca_2(Mg, Fe)_5(SiO_3)_8$	Ca, Mg, Fe	Muy común
Turmalina	$Al_3B_2(OH)_2Si_4O_{19}$	Al	Común
Zoisita	$Ca_2(Al, Fe)_3(OH)(SiO_4)_3$	Ca, Al, Fe	Rarísimo

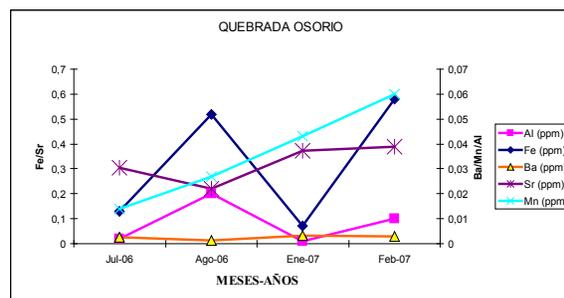


Fig. 3. Concentraciones de aluminio, hierro, bario, Manganeso y estroncio presentes en la quebrada Osorio (Período 2006-2007)

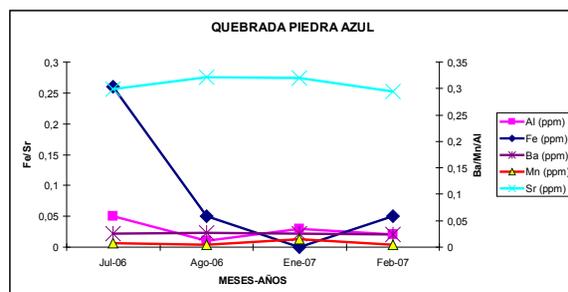


Fig. 4. Concentraciones de aluminio, hierro, bario, manganeso y estroncio presentes en la quebrada Piedra Azul (Período 2006-2007)

En relación a las posibles variaciones, en los contenidos determinados, para cada uno de los metales minoritarios y trazas, se pudo observar que tanto el Al, Fe, Ba y Mn mostraron un patrón de abundancia estacional en sus concentraciones en ambas quebradas (Figuras 3 y 4). Por ejemplo, el Fe y el Al alcanzaron en ambas quebradas, picos de máxima abundancia en los períodos de precipitaciones altas durante el año 2006 e invirtieron este patrón para el lapso 2007 (Figura 2 a y b). En cuanto al Ba en QO reflejó un patrón más estacional y en QPA la tendencia fue una abundancia más conservativa.

El Mn en la QO su distribución fue incrementándose en el lapso de muestreo, presentando un patrón diferente en su concentración con respecto al resto de los metales estudiados, que podría reflejar un aporte más antrópico que geoquímico en el sistema acuático. En la QPA se observó una estacionalidad marcada.

En cuanto al estroncio es un catión metálico que en combinación con el ión cloruro interfiere los valores de dureza del agua. En los minerales que contienen calcio como calcita, esfena y apatito, abundantes en la litología del área de estudio, el estroncio pudiera reemplazar a este elemento, sin cristalizar necesariamente como celestina o estroncionita, y quizás por esa razón no ha sido reportado este mineral en tales litodemos.

Las aguas superficiales de las QO y QPA son utilizados como acueductos rurales por los habitantes de las parroquias La Guaira y Maiquetía en la parte alta, el valor de aluminio determinado en promedio, no superó el límite máximo admisible de 0,2 mg/L, que contemplan las normas del Decreto 883 (MARNR, 1995), para aguas subtipo 1A y 1B, destinadas al uso doméstico e industrial y MSAS (1998); igualmente para la norma COVENIN (1982) no se superó la máxima admisible de 0,3 mg/L, en cuanto a los requisitos fisicoquímicos. Es importante señalar que en la QO se alcanzó un valor puntual de 0,2 mg/L en agosto del 2006, lo que representaría una

situación de riesgo hídrico químico, para quienes se abastecen con estas aguas superficiales.

En cuanto al Fe, es importante destacar que la QO superó en valor promedio (0,32 mg/L) y en dos máximas concentraciones (0,52 mg/L julio 2006) y (0,58 mg/L febrero 2007), el máximo admisible contemplado en COVENIN (1982) y MSAS (1998), lo que representaría una situación de riesgo hídrico químico, para quienes se abastecen con estas aguas superficiales. Adicionalmente en cuanto a la norma del Decreto 883 (MARNR, 1995), no superó la máxima admisible de 1 mg/L.

Los criterios especiales para los posibles usos del agua, las ubican en el nivel de calidad 2, (\leq igual 0,5 mg Fe total/L) para ambas quebradas según Ryding y Rast (1992).

5. Conclusiones

- La reevaluación de la composición química de las quebradas estudiadas reflejó por una parte, las características geoquímicas de las áreas de captación, así como los aportes provenientes de la deposición atmosférica como aerosoles y los productos provenientes de la escorrentía en las cuencas altas particularmente con prevalencia de un ambiente químico no natural presente en la QPA, sector Hoyo de la Cumbre por las actividades agrícolas que allí se desarrollan.
- La calidad del agua en ambas quebradas reflejó diferencias significativas en este estudio con respecto a mediciones anteriores, que en general, mantienen el criterio de agua no apta para el consumo humano y que requiere de los protocolos convencionales de potabilidad.
- Las concentraciones promedio de los metales traza aluminio e hierro total, para el agua de consumo humano, no superaron los límites máximos permisibles de normativa nacional e internacional, pero sí ocurrió con algunos valores puntuales a lo largo del muestreo realizado y constituyen dentro de la variabilidad estacional, un riesgo hídrico químico para los usuarios.
- Los valores de calcio reportados en el agua de ambas quebradas pudieran representar un riesgo químico para quienes las consumen, según las fuentes consultadas para países europeos.
- Las concentraciones de zinc, obtenidos para la quebrada Piedra Azul y Osorio no pudieron relacionarse con la geoquímica de las áreas involucradas por ausencia de reportes que apoyen este planteamiento; se argumenta el posible origen antrópico proveniente de los agroquímicos empleados.
- Los contenidos máximos de algunos metales estudiados, incrementan los niveles de vulnerabilidad sanitaria y riesgo hídrico químico para las

comunidades que dependen de estos recursos acuáticos, tanto para el consumo humano como el riego de legumbres y hortalizas de ingesta cruda.

5.1. Recomendaciones

- Las comunidades y autoridades locales deben evitar la utilización del agua cruda proveniente de las quebradas Osorio y Piedra Azul, para el consumo humano, aun bajo condiciones de extrema escasez, en función de la variación estacional que presentan las concentraciones de algunos metales trazas reportados.
- Se requiere el desarrollo de un programa educativo ambiental dirigido a los productores agrícolas y sus familias, en la búsqueda cambios de uso, manejo y disposición de los agroquímicos utilizados, para sustituirlos por abonos y repelentes naturales; con el debido asesoramiento e información por parte de los organismos competentes encargados de la vigilancia ambiental del parque nacional.

Referencias Bibliográficas

- AMEND, Stephan. (1991). *Parque Nacional El Ávila*. Caracas: Editores Stephan y Thora Amend.
- APHA- AWWA- WPCF. (1985). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington: American Public Association.
- BARRIENTOS, Yolanda, SUÁREZ, Carlos, PACHECO Henry, RUIZ, Simón, DEVIA, Belkys., PERDOMO, Ysley y LEÓN Carolina. "Calidad microbiológica del agua y riesgo sanitario de dos acueductos rurales en el estado Vargas, Venezuela". *Investigación y Postgrado*. Vol. 20-2005. p. 12-25.
- BARRIENTOS, Yolanda., MÉNDEZ, Williams., RUÍZ, Simón., PERDOMO, Ysley., e IZTÚRIZ, Ana. (2007). "Concentraciones de metales mayoritarios y trazas en dos cuerpos de agua del estado Vargas, Venezuela". Universidad Central de Venezuela. IX Congreso Geológico Venezolano. Caracas. p. 114.
- BARRIENTOS, Yolanda., PERDOMO, Ysley., LEÓN, Carolina., GONZÁLEZ, Luis y GONZÁLEZ, Orlando. (2012). "Contenido de elementos mayoritarios y trazas en el agua de riego Hoyo de la Cumbre, estado Vargas, Venezuela". Ministerio del Poder Popular, para Ciencia, Tecnología e Innovación. Primer Congreso de Ciencia, Tecnología e Innovación en el marco de la LOCTI y del PEII. Caracas. p. 96.
- BONETTO, Carlos. (2004). *El río, expresión de la cuenca. El agua, saberes escolares y perspectiva científica*. Buenos Aires: Editorial Paidós.
- CUSTODIO, Ernesto Y LLAMAS, Manuel. (1983). *Hidrología subterránea*. 2. Madrid: Editorial Omega.
- CARRILLO, Gregorio y MARCIALES, Lydia. (1998). *Análisis de agua y líquidos residuales y ensayos de laboratorio*. Caracas: Innovación Tecnológica.

- CASTRO, David., PALACIOS, Daniel y PÉREZ, Manuel. (1997). *Monitoreo de radón en agua y su relación con la salud en el litoral central Distrito Federal*. Memorias IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- CASTRO, David., PALACIOS, David., SAJO-BUHOS, Laszlo. Y LEÓN, Pedro. (1998a). Radón en fuentes de agua potable y los ríos del Litoral Central, Atlántida, 38, 95-100.
- COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). (1982). *El Agua Potable Envasada. Requisitos*. 1431-82. Caracas: Fondo Norma.
- DEVIA, Belkys. (2003). *Determinar el contenido de sólidos totales disueltos presente en el agua de los ríos Osorio y Piedra Azul, período 2001-2002 Estado Vargas. Venezuela*. Trabajo no publicado. Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas
- DE ZUANE, Jhon. (1990). *Handbook of drinking water quality: Standard and control*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- GRASES, José., AMUNDARAY, Juan., MALAVER, Antonio., FELICIANI, Pedro., FRANCESCA, Luis., y RODRÍGUEZ, José. (2000). *Efectos de las lluvias caídas en Venezuela*. Caracas: PNUD-CAF-UCAB Publicaciones.
- GOLTERMAM, Hebert., CLYMO, Richard y OHNSTAD, M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Oxford: Editorial Blackwell.
- GONZÁLEZ DE JUANA, Clemente., ITURRALDE DE AROZENA, Juana, y PICARD, Xavier. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Tomo 1-2. Caracas: Foninves.
- GONZÁLEZ, Zuleika y GONZÁLEZ, Ruth. (2001). *Análisis preliminar de las características morfométricas de la cuenca de la Quebrada Piedra Azul, estado Vargas-Venezuela*. Trabajo no publicado, Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- HERNÁNDEZ, Ernesto. (2000). *Debris and mud flows, Vargas state, Venezuela, of 15 and 16 December 1999*. En CD: *Los Aludes Torrenciales de Diciembre de 1999 en Venezuela*. Caracas: Universidad Central de Venezuela
- HIDALGO, Marcial. (1998). *Toposecuencia de Suelos en la Cuenca de Quebrada Chacaito del Parque Nacional "El Avila"* Trabajo de Grado de Maestría no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas.
- HURLBUT, Cornelius, Jr., & KLEIN, Cornelis. (1985). *Manual de Mineralogía de Dana*. Barcelona: Reverté.
- LAVESTU, Timothy. *Manual methods in fisheries biology and environment*. Chemical analysis of water FAO. *Marine Physiological Science*. 1965 (6). p. 86- 120.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES. (1983). *Mapa de vegetación de la actual Venezuela*: Caracas: Autor.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y 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 883. Caracas: Autor.
- MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL (MSAS). (1998). *Normas sanitarias de calidad del agua potable*. Gaceta Oficial N° 36395.

- MONTTANA, Annibale., CRESPI Rodolfo y LIBORIO Giuseppe (1999). *Minerales y Rocas*. Madrid: Gribaldo
- MÉNDEZ, Williams. (2001). *Características generales de las cuencas de las quebradas Piedra Azul y Osorio, estado Vargas, Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas. Inédito.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (1998). *Guía para la calidad del agua potable*. Ginebra: Suiza.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). (2000). *La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible*. Ciudad de México: Autor.
- OSTOS, Manuel. (1981). *Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas- La Guaira y el Estribo de Galindo, Parque Nacional El Avila, D.F. UCV, Escuela de Geología, Trabajo de Ascenso*. Inédito.
- PERDOMO, Ysley. (2005). *Valoración cualitativa y cuantitativa de la calidad del agua de los ríos Osorio y Piedra Azul, estado Vargas, período julio 2001-2002*. Trabajo no publicado, Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas.
- PERDOMO, Ysley. (2010). *Riesgo químico comunitario asociado a dos cuerpos de agua superficiales Estado Vargas, Venezuela*. Trabajo de grado maestría en Geografía, mención Geografía Física no publicado. Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Instituto Pedagógico de Caracas, Caracas
- PERDOMO, Ysley; BARRIENTOS, Yolanda; y LEÓN, Carolina. (2011). *Eutrofización del agua de regadío en el asentamiento agrícola Hoyo de la Cumbre, P.N. Waraira Repano Estado Vargas*. Universidades y Riesgo Urbano. Una vitrina desde la UCV. Caracas.
- PERDOMO, Ysley; BARRIENTOS, Yolanda; y León, Carolina. (2012). *Eutrofización del agua de regadío en el asentamiento agrícola Hoyo de la Cumbre, P.N. Waraira Repano Estado Vargas*. Evento internacional: Universidades y Riesgo Urbano. Una vitrina desde la UCV. Caracas.
- PERDOMO, Ysley y BARRIENTOS, Yolanda. (2013). Fuentes de enriquecimiento químico vinculado a los desarrollos agrícolas en Hoyo de la Cumbre Parque Nacional Waraira Repano Venezuela. *Revista de Investigación*, 66, 56-70.
- RYDING, Sven y RAST, Walter. (1992). *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. Madrid: Pirámide.
- RUBENOWITZ, Edward., AXELSSON, George and RYLANDER, Robert. (1996). Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. *American Journal Epidemiology*. Vol. 143. p. 456-462.
- STEYERMARK, Julián y HUBER, Otto. (1978). *Flora del Ávila*. Madrid: INCAFO.
- SUÁREZ, Carlos e IZTÚRIZ, Ana. (2002). *Características del curso de los Ríos Piedra Azul y Osorio, Estado Vargas, Venezuela*. Ponencia presentada en el II Seminario Latinoamericano de Geografía Física, Maracaibo. Estado Zulia.
- TOSIANI, Tommaso. (2008). Patologías asociadas a la distribución natural de Se, Ca y Mg sobre la corteza terrestre. *Interciencia*. Vol 33 (3). p. 172-178.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR. (2006). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Caracas: FEDEUPEL.

- URBANI, Franco. (1969). Notas preliminares sobre algunas fuentes de aguas termales de la Cordillera de la Costa. *Boletín de la Sociedad de Geólogos*. Vol. IV (3). p. 21-44.
- URBANI, Franco. (1977). *Ensayo de prospección geoquímica en el Parque Nacional El Ávila, norte de Caracas*. V Congreso Geológico Venezolano. Caracas.
- URBANI, Franco. (1981). Las fuentes termales de Chichiriviche, Distrito Federal. *Geos*. Vol. 3. p. 55-57.
- URBANI, Franco. y Ostos, Manuel. (1989). Complejo Ávila, Cordillera de la costa, Venezuela. *Boletín GEOS*. (29). p. 205-215.
- URBANI, Franco. (2000). *Consideraciones Geológicas de la Catástrofe del Estado Vargas de diciembre de 1999*. Memorias del XVI Seminario Venezolano de Geotecnia: Calamidades Geotécnicas Urbanas con Visión al siglo XXI, La Experiencia para Proyectos del Futuro, Caracas.
- URBANI, Franco., Rodríguez, José y Vivas, Victor. (2000). *Geología del estado Vargas, Venezuela. Seminario Internacional Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela* (Disponible en CD), Caracas.
- URBANI, Franco. (2002). *Geología del estado Vargas y las unidades ígneo-metamórficas de la Cordillera de la Costa*. III Coloquio sobre Microzonificación Sísmica y III Jornadas de Sismología Histórica. Colección Serie Técnica (2), Caracas.
- VERA, Rosa y ROJAS, Yanerys. (2009). *Diagnóstico de amenazas naturales y riesgos socionaturales en Hoyo de la Cumbre cuenca alta del río Piedra Azul, estado Vargas, Venezuela*. Trabajo presentado para optar al título de profesor No publicado UPEL-Instituto Pedagógico de Caracas.