

## **Caracterización hidrogeoquímica del agua superficial de la subcuenca del río acahuapa, departamento de San Vicente, El Salvador.**

## **Hydrogeochemical characterization of surface water in the basin of the river Acahuapa department of San Vicente, El Salvador.**

Edgar Antonio Marinero<sup>1/</sup>, Dra. Odil Durán Zarabo<sup>2</sup>, Carlos Alberto Zuniga<sup>3</sup>, Adalila Molina<sup>4</sup>

1. Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador, Instituto de Vulcanología. Universidad de El Salvador, P.O. Box 1703, El Salvador, Central América.

2. Instituto de Geografía Tropical, Cuba

3. Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Economía Aplicada, UNAN-León.

4. Centro de Investigación en Sistemas de Información Geográfica, UNAN-León

\*Autor por correspondencia: [crisues70@gmail.com](mailto:crisues70@gmail.com)

Recibido: 10 Junio 2015

Aceptado: 23 Diciembre 2015

### **Resumen**

El presente trabajo se llevó a cabo con la finalidad de ampliar el conocimiento hidrogeoquímico del acuífero en la zona de la subcuenca del río Acahuapa, en el departamento de San Vicente, que abarca los municipios de San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapáz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara y Apastepeque. Así mismo, forma parte de la Región Hidrográfica del río Lempa, una de las más importantes del país. La población actual ubicada en la subcuenca es de aproximadamente 112,236 habitantes, lo cual representa el 80% de la población del departamento de San Vicente.

Se recolectaron muestras de 10 puntos en las aguas superficiales de la red hídrica de la subcuenca. Los muestreos se llevaron a cabo en la época seca y lluviosa durante el periodo comprendido de febrero de 2011 hasta agosto de 2012.

Los parámetros analizados fueron datos de cationes (Na, K, Ca, Mg, Fe total) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^{2-}$ ), así como de carbonatos con el fin de determinar el balance de masa y flujo de gas  $\text{CO}_2$ . Además, parámetros fisicoquímicos de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. Tales análisis son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sus relaciones con los sistemas hidrológicos. De forma general se concluyó que el comportamiento químico del acuífero en la subcuenca del río Acahuapa en ambas épocas lluviosa y seca, es similar, y que las familias de agua predominantes son bicarbonatadas magnésicas y cálcicas bicarbonatadas. Las aguas bicarbonatadas son malas para riego, debido a la

fijación de iones en el terreno y creación de un medio alcalino.

**Palabras claves:** subcuenca, cationes, aniones, pozos escavados, manantiales, red hídrica, época seca, época lluviosa.

### Abstract

This study was conducted in order to expand the knowledge hidrogeoquímico of the aquifer in the area of the Sub-basin of the Acahuapa River, in the Department of San Vicente, which includes the municipalities of San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapaz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara and Apastepeque. Likewise, it is part of the hydrographic Region of the Lempa River, one of the most important in the country. The current population located in the Sub-basin is approximately 112,236 inhabitants, which represents 80% of the population of the Department of San Vicente.

Samples of 10 points in the surface waters of the water supply of the Sub-basin were collected. The samplings were carried out in the dry and rainy season during the period of February 2011 to August 2012.

The parameters analyzed data of cations (Na, K, Ca, Mg, Fe total) and anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CaCO}_3^{2-}$ ), as well as carbonates were to determine the balance of mass and  $\text{CO}_2$  gas flow. In addition, physicochemical parameters of temperature, dissolved oxygen, pH and electrical conductivity. Such analyses are sufficient for the study of the main chemical processes in most of the aquifers and their relationships with the hydrological systems. In general it was concluded that the chemical behaviour of the aquifer in the Sub-basin of the Acahuapa River in both rainy and dry seasons, is similar, and that the ruling families of water are bicarbonate calcium and magnesium bicarbonates. The bicarbonate waters are bad for irrigation due to the fixing of ions in the soil and creating an alkaline medium.

**Key words:** sub-basin, cations, anions, Wells Finally, springs, water supply, dry season rainy season.

## Introducción

La subcuenca del río Acahuapa se ubica en el departamento de San Vicente, abarca los municipios de San Vicente, San Cayetano Istepeque, Tepetitán, Verapaz, Guadalupe, San Esteban Catarina, Santa Clara y Apastepeque. Así mismo, forma parte de la Región Hidrográfica del río Lempa, una de las más importantes del país. Está hidrológicamente clasificada como irregular y se divide en tres zonas conocidas como: zona baja, media y alta. La zona baja está definida desde la desembocadura del río Acahuapa al río Lempa, con elevaciones desde 40 hasta los 100 metros sobre el nivel del mar (msnm), la zona media se extiende desde los 100 hasta los 500 msnm y la zona alta de los 500 hasta los 2,181.74 msnm. La población actual ubicada en la subcuenca es de aproximadamente 112,236 habitantes, lo cual representa el 80% de la población del departamento de San Vicente (Barahona et al. 2007).

Las actividades agroeconómicas de importancia son la producción de granos básicos y la caña de azúcar, la cual es procesada artesanalmente en 11 molindas, pero la mayoría de esta producción es comercializada en el Ingenio INJIBOA, con el fin de procesarla industrialmente para la elaboración de azúcar y otros derivados. Otro cultivo productivo en la subcuenca es el café, el cual es cultivado en la parte alta del volcán Chinchontepec, que en las décadas de los setenta y ochenta se procesaba en beneficios como Molineros y Acahuapa, pero que a mediados de la década de los noventa (1995) dejaron de funcionar y las instalaciones son utilizadas en la actualidad como bodegas.

La subcuenca cuenta con servicios básicos como telecomunicaciones, electricidad y agua potable, este último es suministrado en la zona urbana por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), en las zonas rurales se administra por las juntas de agua y por las municipalidades. El sistema de alcantarillado de aguas negras funciona sólo en dos municipios, Apastepeque y San Vicente, los cuales la vierten sin tratamiento en el río Acahuapa.

Con respecto a la cobertura vegetal se observa un alto grado de deforestación, aunque existen algunos bosques naturales y de cafetales que se encuentran en un buen estado. La hidrología está constituida por un sistema principal de drenajes que es el río Acahuapa y todos sus afluentes, identificándose los ríos San Felipe, La Joya Caliente, Sisimico, Tiembla Tierra, Amapupulta,

Ismataco, Antón Flores, Istepeque, Tepetitán y Agua Caliente.

Dentro del área de la zona geográfica se encuentran 12 afluentes hacia el río Acahuapa, cuyas aguas son utilizadas en el riego de parcelas agrícolas, producción pecuaria y otras actividades productivas.

### **Métodos**

Se realizó la toma de muestras en 14 puntos en la red hídrica del territorio de investigación, durante la época seca y de lluvia, de los cuales 10 correspondieron a ríos tributarios, 2 puntos distribuidos en toda la subcuenca y 2 en el cauce del río Lempa, eligiendo este número debido a que representaban los puntos principales del drenaje natural de la unidad hidrogeológica y evitando redundancia desde el punto de vista del área en estudio.

Se tomaron datos del caudal principal del río, realizando tres aforos en la parte alta, media y baja del cauce principal del río de la subcuenca del río Acahuapa, esto se realizó utilizando molinete de eje vertical y cazoletas, por el método del vadeo, durante la época seca.

Con la utilización del Sistema Multi-Sonda YSI 556 (MPS), se tomaron medidas de parámetros fisicoquímicos directamente en campo, generando datos en tiempo real de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica.

### **Resultados**

La información referente a los ríos se basa en los análisis de las muestras químicas del agua de 13 puntos de muestreo, colectados en igual número de tributarios así como dos puntos de interés asociados con este estudio. En este análisis se incorporaron las mediciones realizadas en el punto coincidente con la descarga de la subcuenca del río Acahuapa (CP-2) y el río Lempa (L-1 y L-2). Su selección se desarrolló con el propósito de comparar el quimismo generado en ambas cuencas, su posible interacción con el agua subterránea de la subcuenca en estudio, así como la relación química del agua superficial medida aguas abajo del punto de descarga con el río Lempa (figura 1)

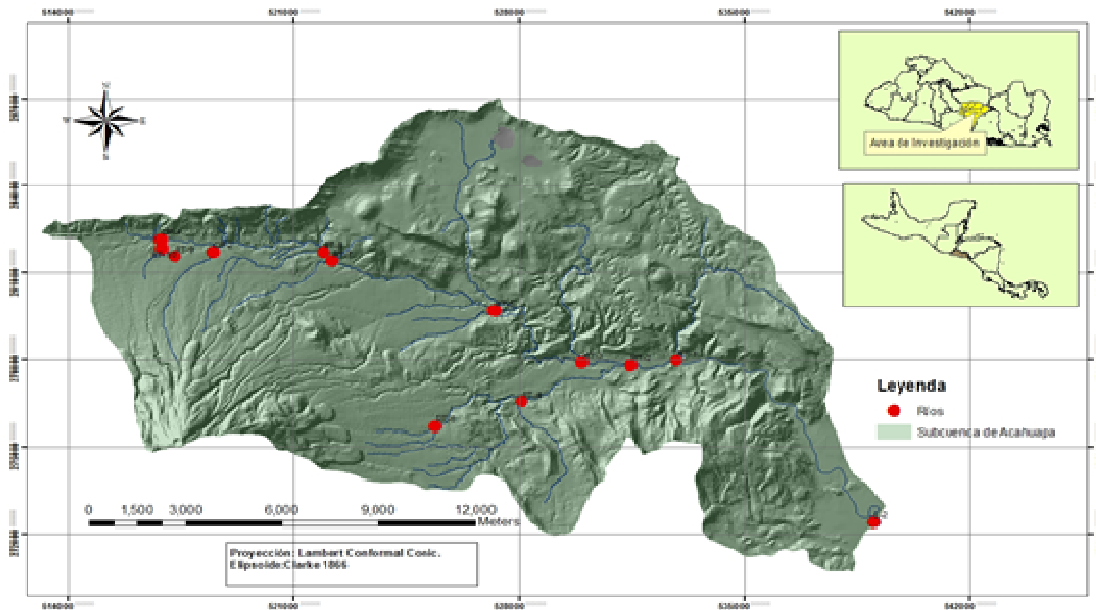


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreos en los ríos de la Subcuenca del río Acahuapa.

Los valores de temperatura del agua superficial medida en ríos variaron entre 25.91° C (RT-7) y 34.84° C (RT-10). Con respecto a estos datos el método de Bogomolov, clasifica estas aguas en el rango de moderadamente tibias.

El pH de las muestras mostró valores predominantemente neutros en la época seca, a excepción de las muestras RT-9 y CP-1 que mostraron valores bajos de pH de 5.06 y 5.35, respectivamente. Adicionalmente se observó un valor alto de pH de 8.36 para el caso del punto de muestreo RT-8, con tendencia a condiciones alcalinas. En cuanto a los datos mencionados la norma de calidad de agua CAPRE 1994, establece un rango de 6.5 a 8.5 de pH, al contrastar los resultados obtenidos con este categoría, se pudo establecer que la mayoría de datos obtenidos están dentro del rango permisible, exceptuando los punto RT-9 y CP-1, que se encuentran fuera del rango para uso humano.

En campo se reportaron mediciones de conductividad eléctrica que variaron desde 212  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (RT-1) hasta 547  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (RT-10). De acuerdo con el análisis de los iones mayoritarios mostrados en la figura 2, el tipo de agua en los ríos se clasifica como cálcica-magnésica-bicarbonatada ( $\text{Ca-Mg-HCO}_3^-$ ), esto para ambas época del año. Estas aguas están relacionadas con aguas de zonas de recarga, que son aguas relativamente jóvenes, con poco tiempo de permanencia en el subsuelo y en su mayoría puede ser de origen meteórico, tomando en cuenta los resultados, como aguas de buena

calidad natural.

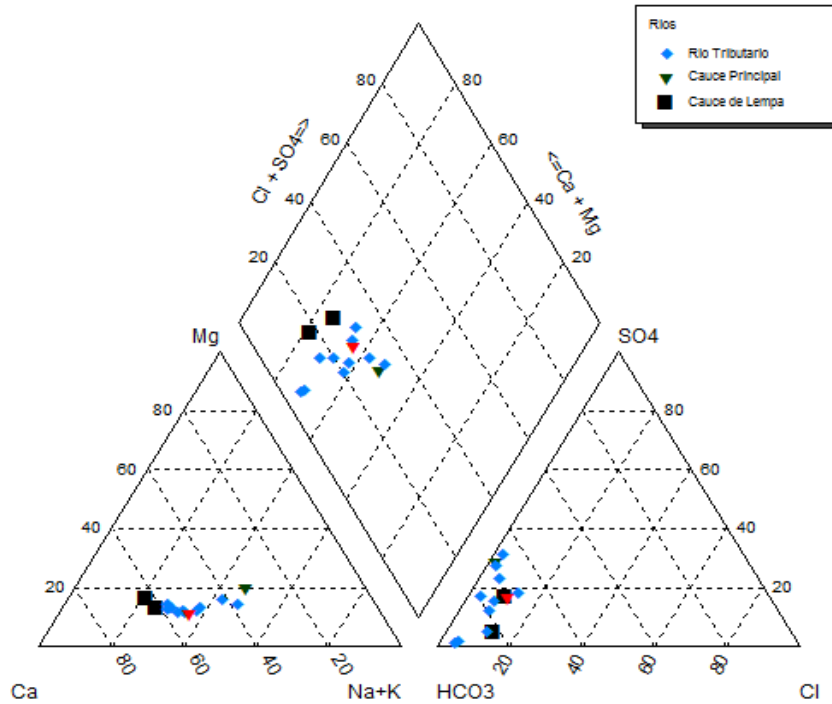


Figura 2. Gráfico de Piper mostrando la composición química del agua superficial de los ríos, correspondiente a la época seca.

El contenido de  $\text{Cl}^-$  observado durante la época seca y de lluvia varió entre de 2 mg/L (RT-1) y 11.0 mg/L (RT-6). Según las normas de agua para consumo humano CAPRE 1994, los resultados reflejan datos que son menores que el valor recomendado de 25 mg/L, por tanto no representa peligro para la salud humana. La figura 3 muestra la relación del sulfato con respecto al cloro, observándose una condición de mayor dilución del cloro para la época de lluvia, no así para el caso del sulfato que muestra un incremento en su contenido a la salida de la cuenca. De acuerdo con la figura 4, se observa como las concentraciones de oxígeno disuelto muestreadas en los ríos para ambas épocas corresponden con un sistema natural de aireación a medida que el caudal de los mismos fluye desde cotas del terreno de mayor elevación hasta cotas menores a la salida de la cuenca. Se discrimina un punto en particular con respecto a su contenido de oxígeno disuelto que no sigue la misma tendencia del resto de los puntos (RT-10), con un valor promedio de ambas épocas de 4.71.

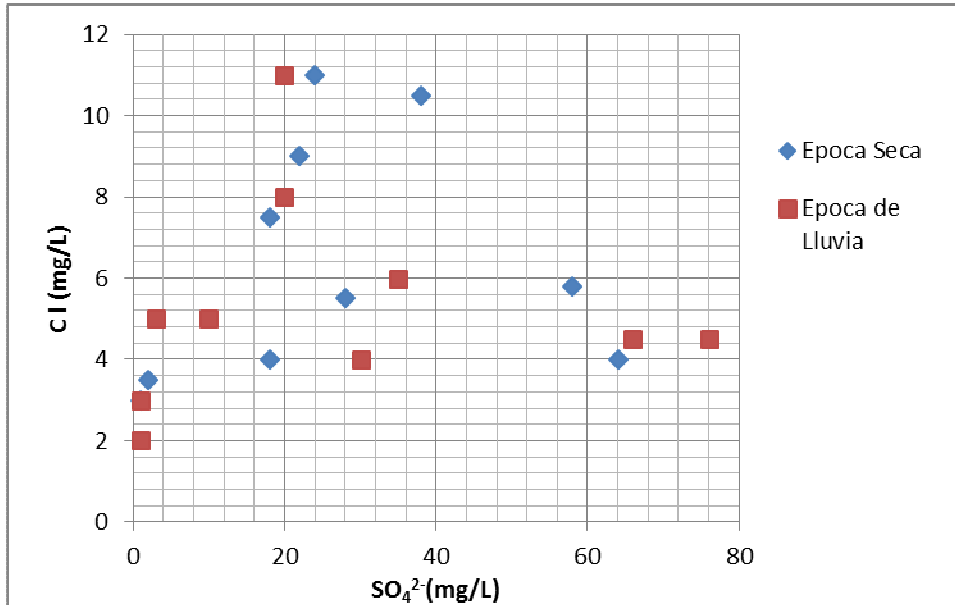


Figura 3. Variaciones del contenido de  $SO_4^{2-}$  (mg/L) con respecto a  $Cl^-$  (mg/L) en ríos.

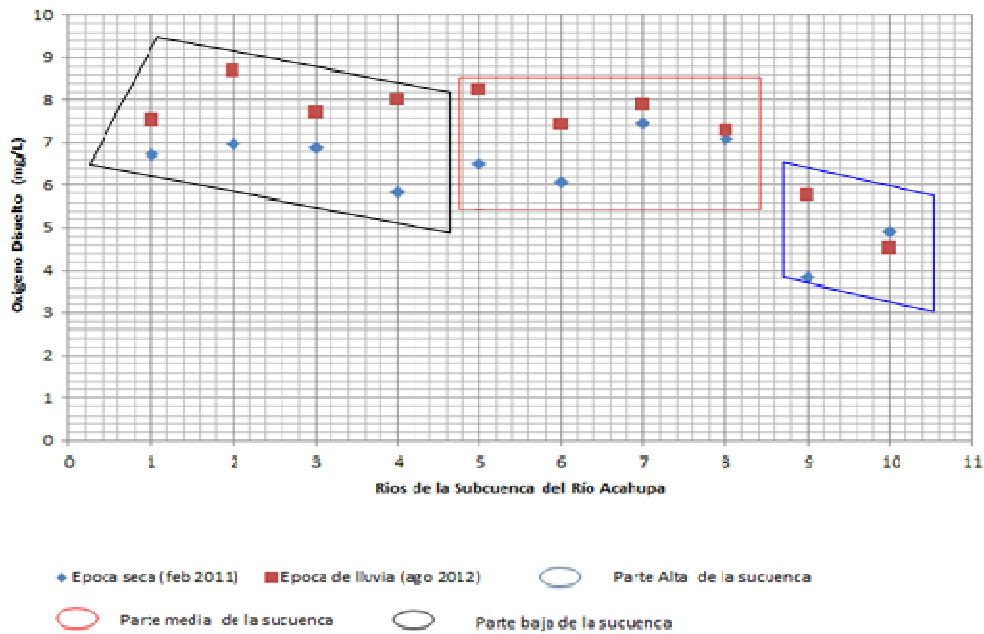


Figura 4. Concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L) medidas en ríos durante la época seca y de lluvia.

## Conclusiones



UNAN-LEÓN

- En toda la subcuenca del río Acahuapa se identificaron dos tipos de agua que son las bicarbonatadas magnésicas y cálcicas -bicarbonatadas.
- Debido al alto contenido de sales como bicarbonatos, el uso del agua superficial de la subcuenca del río Acahuapa para el riego de cultivos tiene la limitante que su uso excesivo puede ocasionar suelos alcalinos.
- Existe el riesgo de alcalización de los suelos al emplear las aguas bicarbonatadas en el riego de los cultivos.



## Referencias bibliográfica

- Alvarado, NA; Hernández, LF. (2000). Plan de Manejo Integral de la microcuenca del río Amatitán, en los municipios de San Esteban Catarina y Santa Clara, San Vicente, El Salvador. 13 p.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SV); COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, CH). 2008. Mapa hidrogeológico de la república de El Salvador. San Salvador, El Salvador, C. A. Esc. 1:100,000. color.
- Balek, J. (1989). Developments in water science. Editorial ELSERVIER. Checoslovaquia. 247 p.
- Barahona, RE; Aguilar, OE; Ochoa, SA. (2007). Análisis de Amenazas Potenciales para la Prevención de Desastres Naturales en la Subcuenca del Río Acahuapa. Tesis Ing. Agr. San Vicente. El Salvador, UES-FMP. 128 p.
- Bouwer, H. (1978). Groundwater hydrology. Editorial McGraw Hill, New York, Estados Unidos. 497 p.
- CEL (Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, SV). (1995). Estudio de factibilidad del Campo Geotérmico de San Vicente, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa. El Salvador. 30 p.
- Custodio, E; Llamas, MR. (2001). Hidrogeología Subterránea (Vol. I). Omega S.A. Barcelona, España. 97 p.
- DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos, SV). (2008). Censos Nacionales VI de Población y V de Vivienda 2007 de El Salvador. Ministerio de Economía, El Salvador. 576 p.
- Drever, J. (1997). The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. Prentice Hall. USA. 456 p.
- Faustino, J. (2003). Manejo de Cuencas con Enfoque en la Prevención de Desastres Naturales. CATIE. San Salvador, El Salvador. p 1-10. de la Diversidad Biológica de El Salvador. REDMESO/SER. México, D.F. 105-147 p.
- Keith, DT. (1973). Hidrología (aguas subterráneas). Editorial PARANINFO, Madrid, España. 400 p.
- Kiely, G. (1999). Ingeniería Ambiental: fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. Editorial McGraw Hill. Madrid. España. 500 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). (2003). Mapas de Recurso Hidrográficas, (en línea), San Salvador, SV. Consultado jueves 27 de noviembre del 2012. Disponible en <http://www.medioambiente@marn.gob.sv>
- Pulido, JL. (1978). Hidrogeología práctica. URMO, S.A. Balboa, España. 200 p.



COLEGIO DE POSTGRADUADOS



UNAN-LEÓN

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático  
(Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.)  
Vol. 1 num 2, 2015, pag 139-148  
ISSN eletrônico 2410-7980  
ISSN Impreso xxxx-xxxx

- Schosinsky, G; Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la Infiltración con base en la lluvia mensual. Rev. Geol. América Central, CR. 55 p.
- Sheng, TC. (1985). Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Guía. FAO. (Conservación). No 13 p.
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). (2005). Informe Mensual de Monitoreo Volcánico, Abril 2005. Informe de Monitoreo del Volcán de San Vicente, (en línea). El Salvador. Consultado 2 de Julio de 2007. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/geologia/monitoreo-php?id-volcan=19>
- Todd, DK. (1980). Groundwater Hydrology. Second edition. University of California, Berkeley and Consulting Engineers. USA. 554 p.
- USAID. (1999). Manejo de las cuencas hidrográficas para la reconstrucción después de los huracanes y reducción de la vulnerabilidad ante los desastres naturales. Contribución de USAID a los debates sobre vulnerabilidad ecológica y social. Grupo Consultivo para la Reconstrucción y Transformación de América Central. Estocolmo, Sweden. 80 .p.