

**ARTÍCULO ORIGINAL**

# Hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala

## Water superficial hydrochemistry of Quiscab river sub-basin, Guatemala

Tomás Antonio Padilla Cámara<sup>1</sup> y Nancy García Álvarez<sup>2</sup>

**RESUMEN.** Se realizó un estudio para conocer el tipo hidroquímico del agua de los ríos tributarios a la sub-cuenca del río Quiscab, en dos épocas del año, para definir si sus características químicas están influenciadas por el material geológico presente o por las actividades que la población realiza provocando contaminación; con ello puede determinarse si los compuestos químicos, producto de este fenómeno, se disuelven y posteriormente son trasladados a las corrientes de agua superficial. Para ello se consideraron las concentraciones de los iones calcio, magnesio sodio y potasio (cationes mayores) e iones carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (aniones mayores) expresadas en por ciento de aniones y cationes utilizando el Diagrama de Piper mediante el programa Easy\_Quim.3. Se determinó el contenido iónico del agua en los dos momentos evaluados la que presentó un carácter bicarbonato-carbonato, cuyo posible origen sea consecuencia del material geológico presente en el área, que ha sufrido un proceso de diluciones y reacciones bicarbonatadas al ponerse en contacto con el agua, así como a la presencia de iones calcio y magnesio. Las aguas del tipo sulfatada y sódica pudieran tener su origen en actividades de tipo antropógenicas.

**Palabras clave:** hidroquímica, disolución, contaminación.

**ABSTRACT.** A research was done to know the hydrochemical type of water of tributary rivers to Quiscab sub-basin, in two seasons of the year in order to define if its chemical characteristics are influenced by geological material or by people activities which provoke pollution. With these results may it can be determined if chemical compounds, aftermath of this phenomenon, were dissolved and moved to superficial water streams. In order to study this assumption, contents of calcium, magnesium, sodium and potassium ions (major cations) and carbonate, bicarbonate, chloride and sulfate ions (major anions) were considered. Contents of these ions were calculated and expressed in cations and anions percent using Piper Diagram through Easy\_Quim.3 program. The tests showed the ionic content of water in the two times evaluated, which showed a bicarbonate-carbonate character, maybe caused by geological material present in the area of study, which has suffered a dilution and bicarbonates reactions processes when it had contact with rivers water, as well as, by the presence of calcium and magnesium ions. The sulfated and sodic waters may have its origin in anthropogenic activities.

**Keywords:** Hydrochemistry, dissolution, pollution.

### INTRODUCCIÓN

El tipo hidroquímico proporciona una “edad relativa” de las aguas monitoreadas. El agua de lluvia tiene una composición química que puede ser alterada en su camino, al depositarse en la litosfera, debido a la presencia en la atmósfera de gases contaminantes como los óxidos de azufre, carbono o nitrógeno. También la brisa marina puede modificar la composición del agua de lluvia, la cual transporta iones cloruros, sodio y potasio, entre otros, que podrían llegar a las corrientes super-

ficiales o subterráneas de las fuentes de agua, perturbándolas (Tincopa, 2005). Son muchos los factores causales que inciden en las diferentes características del agua de un río, desde el nacimiento hasta la desembocadura (Custodio y Llamas, 2001); se destacan entre ellas: el volumen de agua que presenta, el tipo de flujo del agua y fundamentalmente la comunidad que se asienta cerca de este (Dueñas, 2007), que constituye la mayor afectación en la calidad del agua para todos los usos (Pérez *et al.*, 2008); (Pérez *et al.*, 2009), debido al modo de actuación del hombre en sus diferentes actividades en la cuenca.

**Recibido** 22/07/11, aprobado 10/09/12, trabajo 66/12, artículo original.

<sup>1</sup> M.Sc., Prof., Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, E-✉: [tpadillacambara@hotmail.com](mailto:tpadillacambara@hotmail.com)

<sup>2</sup> Dr.C., Prof., Centro de Estudios Hidrotécnicos. Universidad de Ciego de Ávila, Cuba

El tipo hidroquímico del agua se determina para conocer, tanto las características de la misma cuando va a entrar a un sistema, ya sea superficial o subterráneo, como su evolución en dicho sistema. Por ejemplo, para las aguas superficiales, si existe una similitud entre la composición del agua de lluvia y la del río esto indicará que la mayor parte de su aporte proviene de la precipitación; si existen cambios, el río puede estar recibiendo agua del acuífero, situación que puede presentarse en época seca. Sobre esto último cabe la posibilidad de que el río mantenga el flujo base por el aporte de agua subterránea, o bien, que esta sea trasladada por escorrentía superficial, lo que ocurre en la época lluviosa. Estos cambios en la composición del agua, pueden reflejar un enriquecimiento o un intercambio de iones.

Ramos y Márquez (2007) señalan que en el caso de que el acuífero aporte agua al río, las aguas subterráneas tienen su “sello” particular, reportado en la secuencia de Chebotarev. De acuerdo con esta secuencia, las aguas subterráneas de reciente infiltración presentan cierto contenido químico que les da una marca individual; a medida que evolucionan en un medio geológico, van adquiriendo diferente composición iónica, hasta su evolución final como aguas de descarga. Teniendo en cuenta lo anterior, la composición hidroquímica puede estar conformada por: a) únicamente un anión con un catión; b) un anión con dos cationes y c) dos aniones con un catión. Todo esto basado en la composición iónica mayoritaria.

Por la importancia que reviste, desde el punto de vista económico, social y ecológica, la sub-cuenca del río Quiscab para la cuenca del lago de Atitlán, uno de los cuerpos de agua de mayor importancia en Guatemala (Padilla *et al.*, 2010), se impone realizar un estudio de la misma. Una de las etapas de este estudio consiste en conocer el tipo hidroquímico del agua

de los ríos tributarios a la sub-cuenca en dos épocas del año, definiendo si sus características químicas están influenciadas por el material geológico presente o por las actividades que la población realiza provocando contaminación; con ello puede determinarse si los compuestos químicos, producto de este fenómeno, se disuelven y posteriormente son trasladados a las corrientes de agua superficial.

Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar desde el punto de vista hidroquímico, en las épocas de lluvia y seca, la sub-cuenca del río Quiscab en Guatemala.

## MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del Lago de Atitlán en Guatemala, que posee un área de 159.60 km<sup>2</sup> conformada, a su vez, por dos microcuencas: la del río Quiscab-Chuiscalera y la del río Xibalbay, con áreas de 73.66 y 86 km<sup>2</sup> respectivamente.

Para la caracterización hidroquímica del agua, fueron tomadas muestras de agua en los siete puntos que se observan en la Figura 1, previamente seleccionados a partir de fuentes contaminantes de diversos orígenes y del efecto de las corrientes superficiales del río, en dos épocas de muestreo: (1) lluvia y (2) seca. Los puntos se localizaron en los tributarios principales de la subcuenca del río Quiscab, siendo estos los ríos Chuiscalera (R-1), Xibalbay (R-2), Chuiscalera-Chichimuc (R-3), Novillero (R-4), Argueta (R-5), Barreneche (R-6) y Xibalbay la Cuchilla (R-7). El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala tomando como base los estudios reportados por Hem (1985).

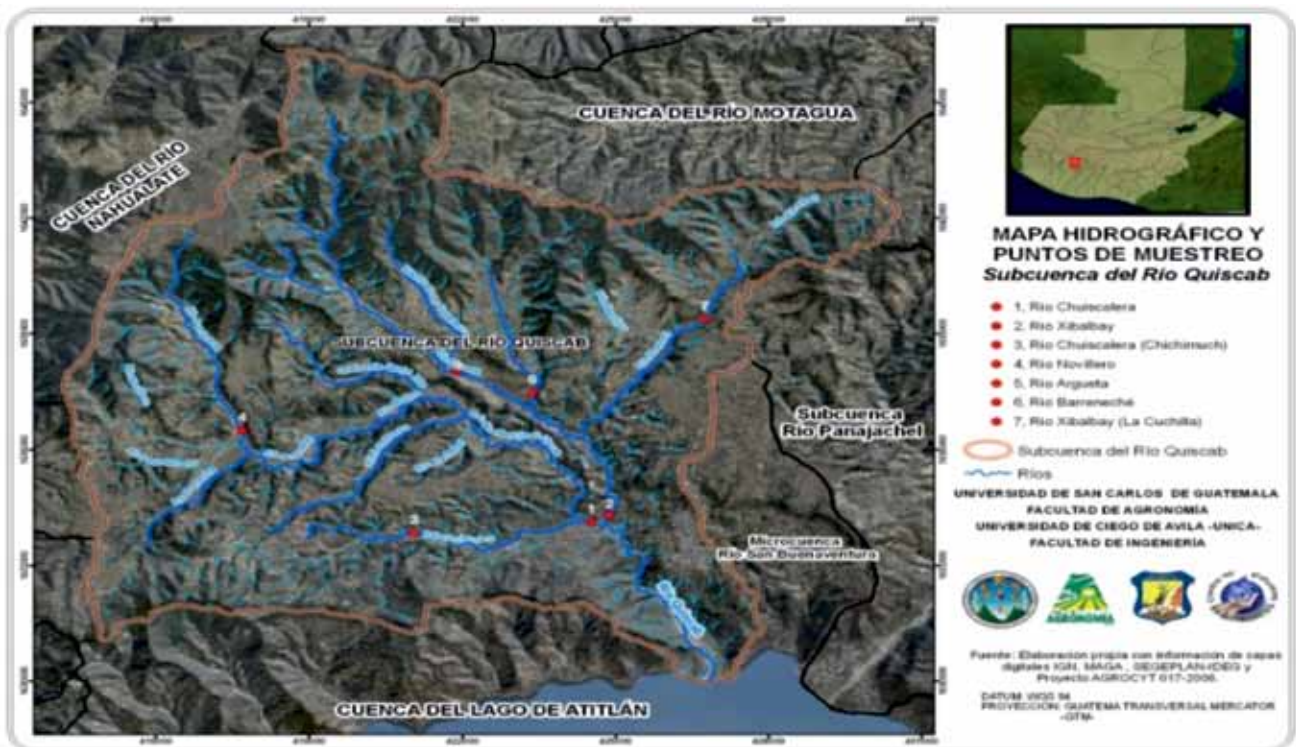


FIGURA 1. Mapa hidrográfico y puntos de muestreo de la sub-cuenca del río Quiscab.

De acuerdo a los resultados químicos de las muestras colectadas, se realizaron los cálculos para determinar el tipo o carácter hidroquímico del agua, lo cual indica la supremacía de un ion sobre otro, pudiendo así determinar el origen del agua y la edad relativa de la misma. Para ello, se consideraron las concentraciones de los iones calcio, magnesio sodio y potasio (catalogados como cationes mayores), e iones carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (catalogados como aniones mayores). Las concentraciones de cationes y aniones mayores fueron calculadas en mg/L y transformadas en meq/L (para su comparación con los estándares existentes); posteriormente se expresaron en por ciento de aniones y cationes utilizando el Diagrama de Piper. Para el cálculo de los iones y la elaboración

de los gráficos se utilizó el programa Easy\_Quim.3, generado por Vásquez, (2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tipos hidroquímicos de los diferentes tributarios se muestran en la Tabla 1. El tipo predominante en las muestras de agua es el bicarbonatado, debido a la litología de la región (presencia de rocas con carbonatos, como calizas y dolomitas); las concentraciones o proporciones relativas de las especies disueltas de carbonatos, son obviamente influenciadas por el pH del agua (Appelo y Postma, 1996).

**TABLA 1. Hidroquímica del agua de la subcuenca del río Quiscab, en dos épocas de muestreo**

Puntos de muestreo	Época de muestreo	Tipo	
		Hidroquímico	Nombre hidroquímico
Río Chuiscalera (R-1)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Mg-Ca	Bicarbonatada-magnésica-cálcica
	seca	HCO <sub>3</sub> -Mg-Ca	Bicarbonatada-magnésica-cálcica
Río Chibalbay (R-2)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Ca	Bicarbonatada-sulfatada-cálcica
	seca	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Ca	Bicarbonatada-sulfatada-cálcica
Río Chuiscalera (R-3)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Mg	Bicarbonatada-magnésica
	seca	HCO <sub>3</sub> -Mg-Na	Bicarbonatada-magnésica-sódica
Río Novillero (R-4)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Na	Bicarbonatada-sódica
	seca	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Bicarbonatada-cálcica-magnésica,
Río Argueta (R-5)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Mg	Bicarbonatada-magnésica
	seca	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Bicarbonatada-cálcica-magnésica.
Río Barreneche (R-6)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Ca	Bicarbonatada cálcica
	seca	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na	Bicarbonatada- cálcica-sódica
Río Xibalbay-La Cuchilla (R-7)	lluvia	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Bicarbonatada-cálcica-magnésica,
	seca	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na	Bicarbonatada-cálcica-sódica

Por la secuencia de Chebotarev el bicarbonato junto con el calcio, son los iones predominantes en la caracterización de un agua. De ahí que el agua catiónicamente evolucione desde el tipo cálcico, pasando al magnésico, para posteriormente finalizar en sódico, aunque existe un intermedio donde se encuentran combinaciones de cálcico-magnésico o viceversa. En cuanto a su evolución aniónica, lo hace de bicarbonatadas a sulfatadas, para finalizar en cloruradas en las zonas de descarga (Ramos y Márquez, 2007).

Las aguas del tipo bicarbonatadas-cálcicas (R-6, 1) se consideran como aguas de recarga, las cuales han tenido un mayor tiempo de recorrido; mientras que las aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas (R-4,2; R-5,2 y R-7,1) obedecen a recarga reciente e incorporación de sustancias a través del material geológico con el cual están en contacto. Las aguas bicarbonatadas-cálcicas-sódicas (R-6,2 y R-7,2), sin embargo, son de muy reciente infiltración que aún conservan los núcleos de sal del agua de lluvia, provenientes bien del mar o por incorporación de aguas residuales que la contienen por el consumo de sal en las poblaciones (NaCl).

A medida que el agua fluye a través de la roca, va adquiriendo diferentes composiciones debido a los minerales presentes en el terreno y a las reacciones que se producen. La hidrólisis y el intercambio catiónico juegan un rol importante en la formación de la composición de las aguas, que cambian de un tipo hidroquímico a otro (como es el caso de las aguas bicarbonatadas-sódicas-cálcicas y bicarbonatadas-magnésica-sódica).

De igual forma el agua evoluciona en cuanto al contenido de aniones; a medida que un agua evoluciona, en su recorrido por un medio, adquiere la composición de la matriz geológica con la cual está en contacto, aunque también se ve “afectada” por las reacciones que se llevan a cabo.

De esta manera, las aguas del tipo bicarbonatado-sulfatado-cálcico (R-2, 1 y 2) presentan un aporte de sulfatos (Figura 1) que pueden provenir de: 1) intrusión de agua de mar; 2) gases o emanaciones volcánicas; 3) aguas geotérmicas; 4) oxidación de rocas ígneas y sedimentarias, como sulfuros metálicos (sulfuro de hierro, conocido como piritita, presente en el área de estudio) y 5) sulfuros orgánicos, que sufren oxidación en los procesos de suelos naturales o en el tratamiento de desechos orgánicos (Ramos y Márquez, 2007).

De acuerdo a la secuencia de las aguas subterráneas, de reciente infiltración, el contenido químico presenta una cierta variación que le aporta una marca individual; a medida que las aguas evolucionan en un medio geológico, van adquiriendo diferente composición iónica, hasta su evolución final como aguas de descarga.

En el caso particular de esta sub-cuenca la evolución puede ser interferida o alimentada por el tipo de material contaminante que se encuentra en la misma, bien en la superficie del suelo o arrastrado por las corrientes superficiales.

Las aguas del tipo bicarbonatadas-cálcicas son aguas de recarga; mientras que las aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas, obedecen a recarga reciente e incorporación de sustancias a través del material geológico con el cual están en contac-

to (tefras y lavas del terciario, en el caso del área de estudio).

Posteriormente estas aguas tienden a presentarse como mixtas, como por ejemplo, las del tipo bicarbonatado-sulfatado-cálcico, sódico-cálcicas y cálcico-magnésicas en iguales proporciones. Presentan un aporte de sulfatos provenientes de gases o emanaciones volcánicas, pero en el área del río Xibalbay (punto R-2, 1), se asume que es consecuencia o de filtraciones de aguas servidas (contenido de jabones) en la parte alta de la sub-cuenca

donde se encuentra la población de Sololá, o que los suelos tengan en su estructura residuos de sulfuro de hierro.

Los resultados también indican (Figura 2) que presentan menos iones disueltos, lo que podría indicar que éstas son aguas jóvenes y que la circulación dentro de los medios acuíferos es suficientemente rápida, de tal manera, que al no tener el debido tiempo para disolver los solutos, se incrementa su concentración.

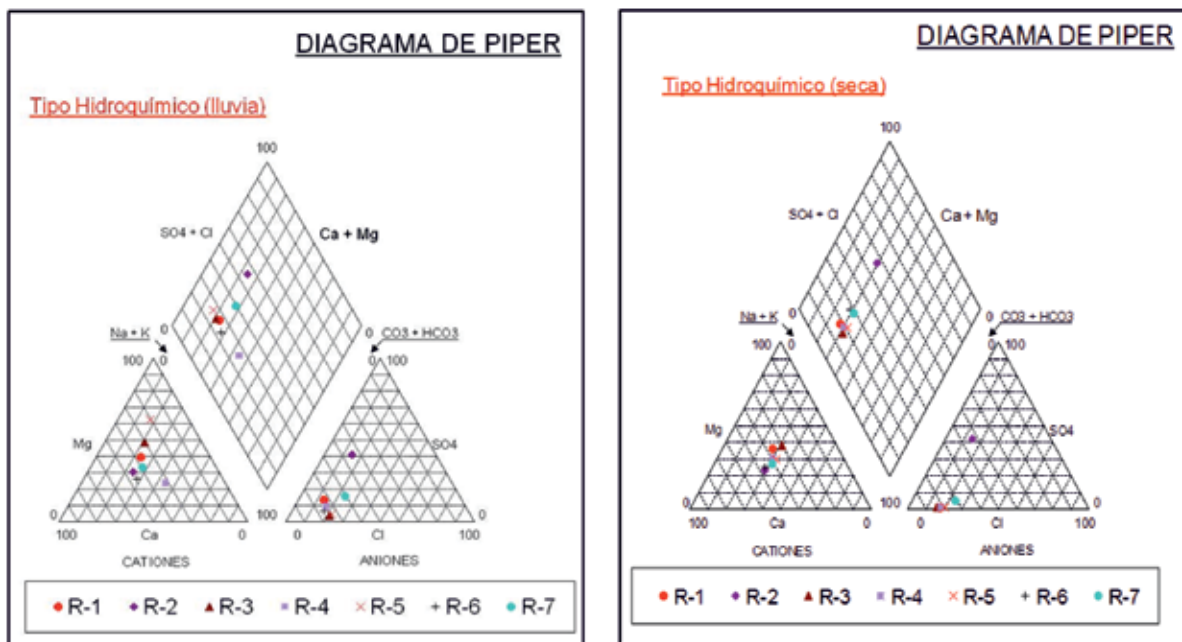


FIGURA 2. Representación utilizando el Diagrama de Piper de la hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab, en dos épocas de muestreo.

## CONCLUSIONES

- La caracterización hidroquímica del agua de la subcuenca del río Quiscab, en las épocas de lluvia y seca, permitió determinar el origen del contenido iónico de esta agua en los dos momentos evaluados. Se considera que el carácter

bicarbonato-carbonato del agua se debe al material geológico presente en el área que ha sufrido un proceso de diluciones y reacciones bicarbonatadas, al entrar en contacto con el agua, así como a la presencia de iones calcio y magnesio; en el caso de las aguas del tipo sulfatada y sódica, estas pudieran tener su origen en actividades de tipo antropógenicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APELO, C. & D. POSTMA: *Geochemistry Groundwater and Pollution*, 649pp., 2nd Edition: A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, 1996.
- CUSTODIO, E. y R. LLAMAS: *Hidrología Subterránea*, 2350pp., V. 1-2, 2ed. Ediciones Omega. Barcelona, España, 2001.
- DUEÑAS, R.: Proyecto de metodología para el Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas en Cuba. En: **Memorias del Congreso Internacional de Riego "Cuba Riego 2007"** C 37pp., La Habana, Cuba. 2007.
- HEM, D. J.: *Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, U.S. Geological Survey. USA, 1985.
- PADILLA, T.; N. GARCÍA; W. PÉREZ: *Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala*, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3): 43-46, 2010.
- PÉREZ, J.; G. HERNÁNDEZ; F. GONZÁLEZ; T. LÓPEZ: *Alternativas para conocer el comportamiento de la calidad del agua en un tramo del arroyo Guachinango*, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(3): 6-9, 2008.
- PÉREZ, J.; T. LÓPEZ; G. HERNÁNDEZ y F. GONZÁLEZ: *Modelo matemático para determinar la calidad del agua en dos puntos del arroyo Guachinango*, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 19-23, 2009.
- RAMOS, J. y A. MARQUEZ: *Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos*. Programa de aguas subterráneas en la Directiva del Marco de Aguas. Santa Cruz de Tenerife, España, 2007.
- TINCOPA, J.: *La calidad del agua, Perú*. [en línea] 2005, Disponible en: <http://portal.educar.org/juancarlostinopalangle/blog/lacalidadde-lagua> [Consulta: mayo 18 2005].
- VÁSQUEZ, S. E.: *Mini-Manual de Easy-Quim.*, 3, representaciones Piper, Stiff and Schoeller, Barcelona, España, 2001.