



Bioquímico Farmacéutico, Doctorado Académico, Magister en Sistemas de Gestión Ambiental. Profesor Universidad Central del Ecuador. Ciencias Químicas. Ex becario DAAD. República Federal de Alemania  
Espín Mayorga Manuel Eduardo  
Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental  
e-mail: meespín@uce.edu.ec

## COMPORTAMIENTO IÓNICO-PLUVIAL EN LA CUENCA DEL CUTUCHI DURANTE INVIERNO Y VERANO 2013

### RESUMEN

*Las aguas de la cuenca del Cutuchi tienen una predominancia bicarbonatada por el pasado geológico del lugar; el objetivo de este trabajo fue caracterizar el comportamiento iónico de las aguas en función de la precipitación pluvial durante los períodos de invierno y verano del 2013; el estudio se ubicó en las coordenadas: UTM (WGS84) Zona 17S X:766806; Y:9867344. Se tomaron 16 muestras por triplicado cada/8 días, en la fase I (enero-marzo) y fase II (julio-agosto). Se analizaron: pH, CE, Temperatura, STD, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, bajo norma APHA/AWWA/WEF. Las aguas se ubican en las categorías C2 y C3 Como salinidad, la relación CE/RASorg determina aguas de clase C2-S1/C3-S1 y C3-S1 en fases I y II respectivamente, lo que permite concluir que las aguas de la cuenca del Cutuchi que aportan al canal Latacunga Salcedo Ambato se encuentran en riesgo alto de salinización. De igual forma, se concluye que aguas de la cuenca del Cutuchi contienen concentraciones de iones que corresponden a aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas y que debido a la proporción de Bicarbonatos se generan cambios que son dependientes del nivel e intensidad de las lluvias tanto en la fase de verano como de invierno*

**Palabras clave:** salinidad, relación de adsorción de sodio, carbonatos y bicarbonatos

**ABSTRACT**

*The waters of the basin Cutuchi have a predominance bicarbonate by the geological past of the place; The aim of this study was to characterize the behavior of ionic water depending on rainfall during the winter and summer periods of 2013; The study was located at coordinates: UTM (WGS84) Zone 17S X: 766806; Y: 9,867,344. 16 samples in triplicate each / 8 days, in Phase I (January-March) and Phase II (July-August) were taken. They were analyzed: pH, EC, temperature, STD, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, under APHA/AWWA/WEF. The waters are placed in categories C2 and C3 as salinity, EC / RASorg ratio determines water-S1 class C2 / C3 and C3-S1-S1 in phases I and II respectively, leading to the conclusion that the waters of the basin contributing to the channel Cutuchi Salcedo Latacunga Ambato channel are at high risk of salinization. Similarly, it is concluded that water basin Cutuchi contain concentrations of ions corresponding to water Bicarbonate calcium and / or magnesium and due to the proportion of bicarbonates dependent changes in the level and intensity of rainfall generated both during summer and winter*

**KEYWORDS:** salinity, sodium adsorption ratio, carbonates and bicarbonates

**1 INTRODUCCIÓN**

Según Salomón [1], más del 70% del agua del río Cutuchi presenta mala calidad por la contaminación que se vierte en la cuenca, de acuerdo a la norma de agua para uso agrícola, y a pesar de conocer que el agua es un elemento fundamental para la vida, que el 80% del agua limpia se convierte en agua residual y su mal uso en la producción agropecuaria determina el deterioro de las condiciones de vida de la población rural, la misma que consume aproximadamente el 65% del recurso disponible [2]. No existe un estudio descriptivo que caracterice los componentes iónicos de la cuenca del Cutuchi y peor aún que correlacione con la pluviosidad en invierno-verano; en el Ecuador, gran parte de los suelos cultivables dependen de las condiciones climáticas en la zona centro del país; alrededor del 95,67% de las aguas provenientes de las Cuencas hidrográficas son caudales concesionados que se usan para riego [3], por lo que es imprescindible saber la influencia de la precipitación pluvial tanto en invierno como en época de estiaje, ya que el agua, y por ende sus componentes, es el elemento que restringe la producción agrícola, por lo que el interés por la demanda de agua para regadío es fundamental, pues su escasez genera dificultades para la vida del ser humano.

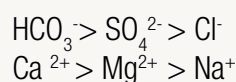
La cuenca del Cutuchi provee agua para regadío en especial al canal de riego Latacunga Salcedo Ambato a lo largo de aproximadamente 40 km, con un caudal de 4 500

a 5 200 litros s<sup>-1</sup>, con lo cual se consigue regar alrededor de 6 287 hectáreas, abastece a 17 000 familias de los cantones de Latacunga, Salcedo, en Cotopaxi; Ambato y Píllaro en Tungurahua, cuyos cultivos predominantes son transitorios, como: cebada, habas, cebolla, maíz, hortalizas, papas y pastizales [4].

**ASPECTOS TEÓRICOS**

Los minerales en mayor proporción en las rocas ígneas son los silicatos (SiO<sub>2</sub>) de Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, el intemperismo libera estos iones, según la clasificación de Goldshmidt, los cationes adsorbidos por los coloides del suelo y su movilidad, se colocan en la serie de Hofmeister: Li<sup>+</sup>>Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>Ba<sup>2+</sup>. El fundamento de la geoquímica formadora de las aguas en equilibrio con la fase líquida del suelo sobre la tierra está basado en la solución y extracción de los iones desde los minerales, en el transcurso de la meteorización, seguido por su precipitación y acumulación bajo condiciones específicas geográficas [5]. Los componentes mayoritarios que resultan de la lixiviación-extracción se presentan en concentraciones ≥ 5 mg l<sup>-1</sup>, los aniones de este grupo: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y los cationes: Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+Na<sup>+</sup>. Los componentes minoritarios se encuentran en concentraciones de 0,01 a 5 mg l<sup>-1</sup>, los aniones de este grupo: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y los cationes: K<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. [6], Los componentes trazas se definen aquellos cuyas concentraciones son inferiores a 0,1 mg l<sup>-1</sup>, en este grupo se encuentran los siguientes iones: Br, [B(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, As<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Z<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>.

La secuencia normal de evolución del agua subterránea de flujo regional en concentraciones de los iones, definida como agua 'joven' y de reciente infiltración, es:



Debido al tiempo de residencia del agua en el acuífero se genera una evolución de la secuencia de los aniones, ya que los Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tienden a predominar; mientras que en el caso de cationes la inversión de la secuencia no necesariamente se desarrolla como inversión, este proceso de intercambio fue desarrollado por Chebotarev, nombre con la que se conoce actualmente la secuencia [7]. En esta interacción influyen variables como: tiempo de contacto, naturaleza del mineral por el cual atraviesa las aguas, condiciones del sistema como temperatura, presión, pH, etc. Por otro lado, los componentes del agua lluvia, no aportan sales en cantidades significativas a los suelos, pues presentan valores promedios de conductividad eléctrica 0,046 dS m<sup>-1</sup> [8], por lo que cambios en la composición iónica en invierno-verano

dependen de la relación de aporte del acuífero y de las variables, anteriormente mencionadas.

**ESTRUCTURA GEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL CUTUCHI**

Como la mayor parte del continente Americano, en la cuenca del Cutuchi se encuentran depósitos de suelo residuales formados por la meteorización, cenizas volcánicas, estos están constituidos por silicatos, vidrio volcánico, feldespatos, cuarzo, hornblenda, hiperestena, augita, magnetita, conforman acuíferos locales de permeabilidad alta, media y discontinuos que se descargan a través de los ejes de drenaje del Callejón Interandino por manantiales de alto rendimiento como el de Quillán con un caudal de 300 l/s. [4][9].

Los suelos de la cuenca del Cutuchi corresponden al orden Inceptisoles con predominancia de la suborden Andepts por constituirse de cenizas volcánicas, [2], [6], los Inceptisoles están formados sobre rocas ígneas cuyo proceso de meteorización genera silicatos de Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>. [7]. La Hidrogeología del Cutuchi presenta una carga de iones que promedian una CE de 806 y 857 μS cm<sup>-1</sup> [10], mientras que la precipitación pluvial es de 805 mm anuales [11]. El volcán Cotopaxi con su casquete de forma cónica presenta un área de 12'676.566 m<sup>2</sup>, con un espesor promedio de 50m, genera deshielos y drenajes en tres flancos importantes, al norte el río Pita, al sur el río Cutuchi, quebrada de saquimala, barrancas y río Alaquez que constituyen los aportes iniciales de la cuenca del Cutuchi, y al Oriente el Tamboyacu, y Tambo; la cuenca genera 1000 MMC anuales debido fundamentalmente a su cuífero del Cutuchi, el mismo que se estima en 1.800 Hm<sup>3</sup> [12][9].

**PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS**

Para determinar la calidad de las aguas se analizan los siguientes parámetros físico-químicos: concentración de iones hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloruros (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>) y magnesio (Mg<sup>2+</sup>), sales totales disueltas y fundamentalmente el índice: relación de adsorción de sodio (RAS) [13][14].

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)^{1/2}}$$

Na<sup>+</sup>= concentración de Na<sup>+</sup> en el agua de riego (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>);  
 Ca<sup>2+</sup>= concentración de Ca<sup>2+</sup> en el agua de riego (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>);  
 Mg<sup>2+</sup>= concentración de Mg<sup>2+</sup> en el agua de riego (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

**CARBONATOS Y BICARBONATOS**

Los iones bicarbonato remueven al calcio de la arcilla y dejan en su lugar al sodio, de esta manera un suelo regado con aguas con alto contenido de bicarbonatos tiende a intercambiarlo por el sodio, las especies vegetales difieren en su tolerancia al ion bicarbonato que afecta la absorción y el metabolismo [15][16].

Tabla 1. Valores indicativos de bicarbonato para la calidad de agua de riego [17][18]

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en el uso		
		Ninguno	Ligero a moderado	estricto
Bicarbonato	meq/l	< 1,5	1,5-8.2	>8,2

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D. Fuente. Metcalf, & Eddy. (1999) Parkin, C. N. (1994).

**CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA RIEGO CON BASE A LA SALINIDAD EFECTIVA (SE)**

Aceves [19] hace mención que este índice fue propuesto por Done en 1959, para sustraer de la salinidad total los carbonatos y sulfatos de calcio que precipitan fácilmente. La SE es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al formar parte de la solución del suelo; este proceso es más notable cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos [20]. Se calcula la salinidad efectiva con los siguientes condicionales como se resume en la Tabla 2:

Tabla 1. Condicionales de determinación de salinidad efectiva. [19] [22]

Si Concentración de Calcio es	Concentraciones restantes	Salinidad efectiva se determina por
>	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Σ cationes - (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
<	pero Ca <sup>2+</sup> > (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Σ cationes - Ca <sup>2+</sup>
<	Pero (Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> ) > (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Σ cationes - (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
(Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> ) <	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> )

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D. Fuente Valverde (2007).

Es una estimación más real del problema de la salinidad, pues contempla la precipitación probable de carbonatos de calcio, magnesio y sulfatos de calcio, lo cual disminuye el efecto sobre la presión osmótica, el efecto de las sales va a depender de su solubilidad y tendencia a precipitarse. La salinidad efectiva es igual a la salinidad total menos los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Todos los iones se expresan en mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>, en la Tabla 2. Se resume la clasificación de las aguas de regadío de acuerdo a la salinidad efectiva.

Tabla 2. Clasificación de aguas de regadío en base a la salinidad efectiva. [19]

CLASE	USO	SALINIDAD (meq l <sup>-1</sup> )
Primera	Sin peligro (buena)	< de 3.0
Segunda	Condicionada Peligrosa, NO	3.0 – 15.0
tercera	recomendable	> de 15.0

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D. Fuente Aceves (2011)

### EFFECTOS PROBABLES DEL SODIO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Cuando las aguas de riego contienen cantidades considerables de sodio en solución, este se acumula paulatinamente en el suelo y como consecuencia, el suelo se flocula y pierde su estructura, debido a esto, la permeabilidad del suelo al agua y aire disminuye, se favorece la formación de costras, todo lo cual afecta o impide el desarrollo normal de los cultivos.

### ÍNDICE DE EATON O CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (CSR)

Indica la peligrosidad de sodio, una vez que han reaccionado los cationes Calcio y Magnesio con los aniones Carbonato y Bicarbonato, se calcula a partir de los valores obtenidos en el análisis, expresado en meq/l.

$$CSR = CO_3^{2-} + CO_3H^{-} - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

$$CSR = CO_3^{2-} + CO_3H^{-} - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

El criterio para caracterizar aguas de riego, según este índice: no son buenas las aguas que contienen más de 2,5 meq l<sup>-1</sup> y son buenas, si este contenido es inferior a 1,25 meq l<sup>-1</sup> [21], en la Tabla 3 se resume la clasificación del agua según el CSR.

Clase	Salinidad efectiva en meq/l
Excelente	Menor a 0
Buena	0 - 1,25
Condicionada	1,25 -2,50
No recomendable	Mayores de 2,5

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D. Fuente Valverde (2007).

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el Ecuador. En la Figura 1 se grafica la cuenca del Cutuchi, su ubicación geográfica, estaciones INAMHI y coordenadas de muestreo.

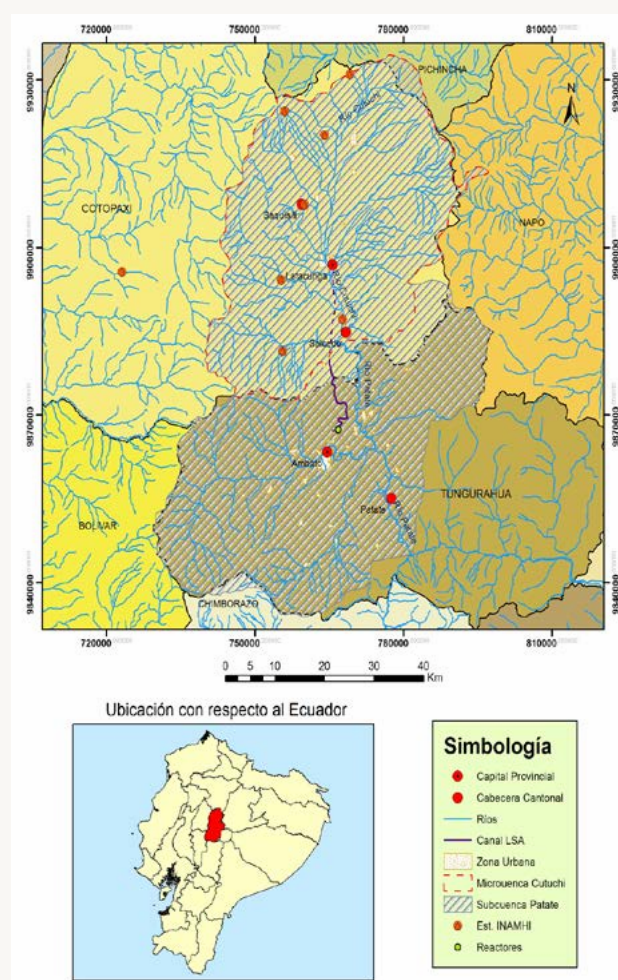


Figura 1. Cuenca hidrográfica del río Cutuchi, Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

### 1.2. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación se efectuó en dos fases. La primera fue entre los meses de enero y marzo del 2013 en época de lluvia y la segunda fase fue entre los meses de julio y agosto del 2013 en época de estiaje.

## PARÁMETROS ANALIZADOS.

Se determinaron en cada muestra de agua: pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura, aniones (Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio) y cationes (Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros y Sulfatos), Temperatura, STD, de acuerdo a los métodos APHA/ AWWA/WEF Standard Methods N° 5220, métodos 4500-H+B, 2510 B, 3500 Ca D, 3500 Na K D, 2320 B, 4500 Ci B, 4500-SO4 B, 2540 D y 2540 E, 1995). [23]

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La composición promedio de los parámetros analizados del agua del canal LSA se presenta en gráficas siguientes: La relación Calcio-Magnesio en las fases de invierno y verano se observa en la Figura 2

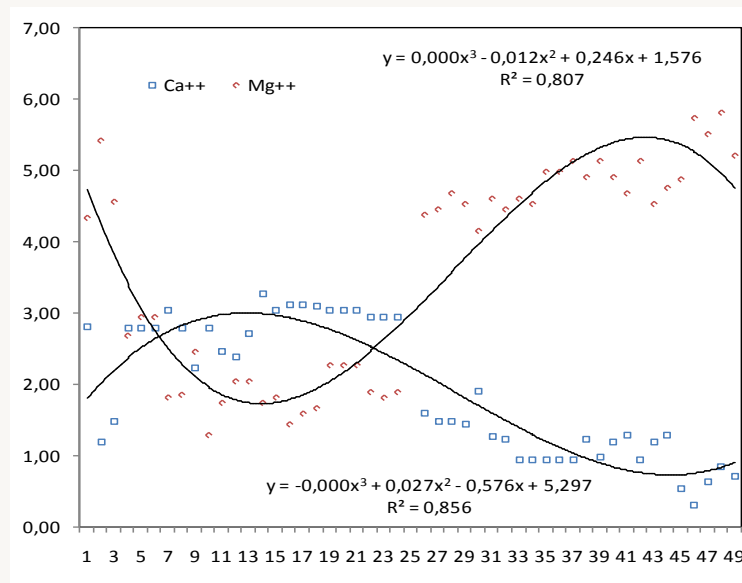


Figura 2. Correlación entre la concentración de cationes Calcio y Magnesio en la cuenca del Cutuchi. Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

Pluviosidad de la cuenca del Cutuchi: Los valores en mm para el año 2013 se resumen en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Pluviosidad del 2013 en estaciones de INAMHI: Clirsen, Pastocalle y Aeropuerto Latacunga en los meses enero, febrero y marzo.

mes 2013	Estación Clirsen M120a 3510 msnm 003724S, 78.3453W	Estación Pastocalle M371 a 3074msnm 004319S, 78.3739W	Estación Aeropuerto M0064 a 2806 msnm 00933S,78.61W	Suma Valores en mm
Enero	39.9	15.5	42.3	97.7
Febrero	201.3	118.1	96.3	415.7
Marzo	115.9	45.6	62.7	224.2

Tabla 5. Pluviosidad del 2013 en estaciones de INAMHI: Clirsen, Universidad Técnica de Cotopaxi y Aeropuerto Latacunga en los meses julio y agosto.

mes 2013	Estación Clirsen 3510 msnm. M120 003724S, 78.3453W	Estación Universidad Técnica de Cotopaxi msnm M1238	Estación Aeropuerto M0064 a 2806 msnm 00933S,78.61W	Suma Valores en mm
Julio	18.7	6.4	5.4	30.5
Agosto	34.7	17.7	13	65.4

La precipitación pluvial de la cuenca del Cutuchi en sus fases I y II del año 2013 se esquematizan en la Figura 3.

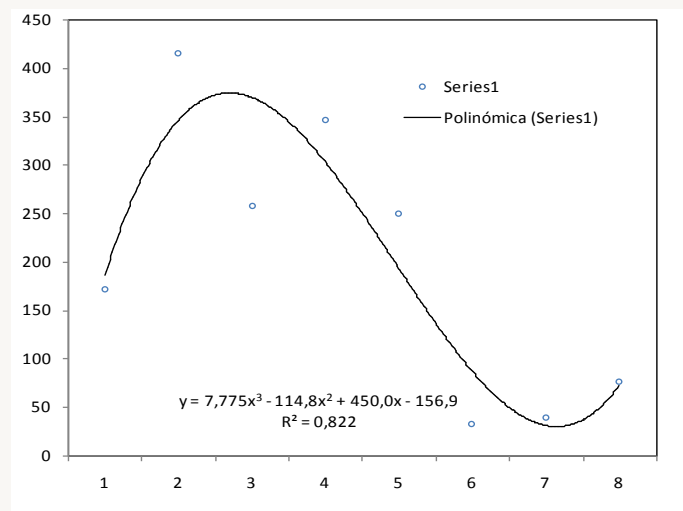


Figura 3. Relación pluvial en mm del año 2013(enero-marzo y julio-agosto) en la cuenca del Cutuchi. Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

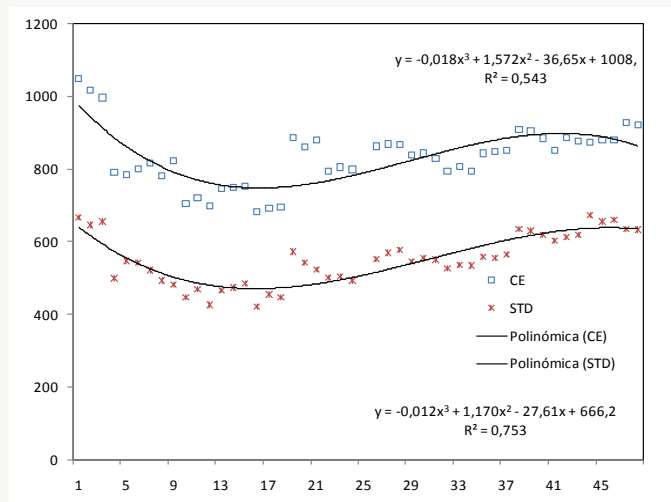


Figura 4. Relación entre la Conductividad Eléctrica y STD de las aguas cuenca del Cutuchi del período enero-marzo y julio-agosto del 2013. Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

El contenido total de sólidos disueltos en las soluciones está directamente relacionado con la conductividad eléctrica. En el presente caso, en las fases I y II la relación funcional entre la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos fue de 637 y 688. En la Figura 4 se grafica la relación de la CE vs la Concentración de Sólidos Totales Disueltos para la fase I como para la fase II (enero-marzo y julio-agosto 2013).

### COMPOSICIÓN IÓNICA EN LAS DOS FASES

Los datos promedios de la composición iónica de las fases I y II

Tabla 4. Datos estadísticos de la composición iónica de las aguas del canal LSA fase I.

Item	pH	Cationes					Aniones					STD	
		CE $\mu S/cm$	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	$\Sigma$ Cation	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		$\Sigma$ Anión
Media	7,9	2,8	2,4		2,7	0,2	8	0,1	6,5	0,8	0,6	8	515
Mediana	8	2,8	2		2,7	0,2	7,9	0	6,5	0,8	0,6	7,8	501
Moda	5	2,8	2,3	3,0		0,2	7,9	0	6,3	0,8	0,5	7,8	501
DS $\sigma$	0,3	0,5	1	0,6		0	1	0,4	0,7	0,1	0,1	1	68
CV	0	0,2	0,42		0,2	0	0,1	4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,13

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

Tabla 5. Datos estadísticos de la composición iónica de las aguas del canal LSA fase II.

Item	pH	CE $\mu S/cm$					suma					STI	
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cation	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Anión		
Media	8,0	865,5	2,3	3,1	2,6	0,2	8,2	0,1	6,7	0,8	0,7	8,3	595
Mediana	8,0	800	2,7	2,6	2,4	0,2	8,1	0,0	6,7	0,8	0,7	8,1	592
Moda	8,0		2,8	2,3	3,0	0,2		0,0	6,2	0,8	0,5	8,8	638
DS $\sigma$	0,3	244	0,8	1,4	0,5	0,1	1,0	0,3	0,8	0,1	0,1	1,0	46
CV	0,0	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,1	2,9	0,1	0,2	0,1	0,1	0,04

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D.

En la fase I, la concentración de cationes fueron de Ca<sup>2+</sup>>Na<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup> y de los aniones fueron de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>>Cl<sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; mientras que en la fase II fueron de Mg<sup>2+</sup>>Na<sup>+</sup>>Ca<sup>2+</sup> y de los aniones fueron de HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Existe la probabilidad de formar suelos sódicos y deteriorar la estructura física y química de los suelos [6].

### CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (CSR)

La composición aniónica de las aguas es importante desde el punto de vista agronómico, el CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tienen una estrecha relación entre el agua de riego y el suelo, pueden precipitar o disolver CaCO<sub>3</sub> agravando o disminuyendo la peligrosidad por Na<sup>+</sup>.

El exceso de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el agua de riego causará una reacción alcalina en el suelo, debido a que precipita con los

iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  formando los carbonatos respectivos, a medida que precipitan, aumenta la concentración relativa de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , esta es la razón para que exista riesgo de sodificación del suelo, a pesar de que la cantidad presente de  $\text{Na}^+$  no ha variado [24] [25].

Los trabajos de Wilcox [26], demostraron que cuando se incrementa los valores de  $\text{HCO}_3^-$  en el agua, se incrementa la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  precipitada; esta precipitación es directamente proporcional al incremento del PSI en el suelo. Richards et al. (1954) cita a Eaton (1950), él reportó que aguas de riego con excesos de  $\text{HCO}_3^-$  en relación al  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , aumentaron el PSI del suelo y propuso tres términos para referirse a este incremento y son: porciento de sodio encontrado, porciento de sodio posible y carbonato de sodio residual. Los valores promedio de CSR de las aguas son: fase I = 1,4 CSR y fase II = 1,27 respectivamente, cuando el contenido se encuentra entre 1,25 y 2,5 meq.l<sup>-1</sup>, se clasifican como dudosas para el riego y predomina la concentración de  $\text{HCO}_3^-$ .

Los valores de CSR se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de las aguas de acuerdo al índice de Carbonato de Sodio residual (CSR). [14]

Clasificación	Tipo	CSR(meq l <sup>-1</sup> )	Observaciones
1	Aguas altas en CSR	<2.5	No son buenas para riego
2	Aguas medias en CSR	1.25-2.5	Dudosas para riego
3	Aguas bajas en CSR	>1.25	Buenas para riego

Elaborado por Mayorga Llerena, E. Carrera D  
Fuente: Richards et al. (1954)

## CONCLUSIONES

El río Cutuchi tiene una extensión de 11,77 km de longitud; el río Álaquez de 5,64 km; río Pumacunchi, de 9,04 km; y el río Yanayacu, cuyas aguas fluyen de este a oeste en un recorrido de 4,33 km; el río Cunuyacu en el mismo sentido y 3,40 km [28], todos aportantes de la cuenca del Cutuchi. En este recorrido se genera un proceso de meteorización, seguido de una extracción de los iones, principalmente de Calcio, Magnesio y Sodio de los suelos de la cuenca, con caudales que alcanzan los 5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> a la cota de 2640 m. La precipitación pluvial en la cuenca del Cutuchi, determinada en el presente estudio, concuerda con los datos bibliográfico [27], los meses de enero-marzo presentan una pluviosidad

máxima que supera los 400 mm por mes; mientras que en los meses de Mayo-Agosto promedia los 50 mm, período en el cual los caudales son menores, valores mínimos de caudal se encuentran alrededor de 2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, si se correlaciona la precipitación pluvial, se infiere que este caudal resulta del aporte mayoritario del acuífero, en mucha menor proporción de los deshielos del Cotopaxi y, en una mínima cantidad de las descargas de aguas grises que se vierten directamente en valores aproximados de 110 litros s<sup>-1</sup> [10][27].

Los Bicarbonatos provienen del lavado de rocas calizas y de la captación del CO<sub>2</sub> atmosférico, se encuentran en equilibrio con los carbonatos, en el período de estiaje se genera una precipitación del Calcio, como carbonato de calcio, entidad química que tiene un  $K_{ps}=3.36 \times 10^{-9}$  a 25°C, lo que determina que como Carbonato es muy poco soluble; mientras que el Carbonato de Magnesio es mucho más soluble con un  $p_{ks} = 6.82 \times 10^{-6}$  a 25°C, la presencia mayoritaria de los iones Calcio y Bicarbonato en las aguas del río Cutuchi, determinan que constituyen aguas jóvenes, de infiltración reciente como se especifica en la secuencia de Chebotarev [6] [7] [10].

La proporcionalidad en concentraciones en meq.l<sup>-1</sup> (o mol<sub>c</sub>.l<sup>-1</sup>) de los iones Calcio Magnesio y Sodio en la fase invierno es de alrededor de 1,0:0,9:1,0 referidos al Sodio; mientras que en la fase de verano la proporcionalidad varía a 0,9:1,2:1,0 referidas al sodio. Las concentraciones de Sodio resultan semejantes, tanto en la fase de invierno como verano; mientras que existe una variabilidad descendente del Calcio por precipitación y una ascendente del Magnesio por concentración acumulativa dentro del acuífero y en el transcurso de las aguas superficiales debido a su  $p_{ks}$ , mil veces mayor con respecto al Calcio.

El Carbonato y Bicarbonato de Sodio son altamente solubles en agua por lo que, su concentración está más relacionada al tiempo de contacto en los ríos de la cuenca y en la medida que el análisis presente se desarrolló en las coordenadas UTM (WGS84) Zona 17SX:766806;Y:9867344, sus concentraciones, ya sea de Sodio Carbonato o Sodio Bicarbonato resultan análogas, por su amplia solubilidad.

Del análisis físico-químico, presentado en el presente estudio, se desprende que las aguas de la cuenca del Cutuchi que aportan al canal de riego Latacunga Salcedo Ambato y tomando en consideración, los índices de la relación RAS, Conductividad Eléctrica, se clasifican en la clase C3-S1, rango que determina que las aguas del canal LSA se encuentran en riesgo alto de salinización, lo que genera un daño a los suelos que irrigan estas aguas debido, principalmente por la composición iónica que resultan con alto porcentaje de Bicarbonatos, Calcio y Magnesio, con la

posibilidad de generar a largo plazo, procesos de sodificación que afectarían al suelo y por ende a los cultivos en las zonas que se utilizan las aguas,

En época de estiaje existe una disminución del índice CSR. Los valores promedio de CSR de las aguas del canal LSA son: fase I = 1,4 CSR y fase II = 1,27 respectivamente, cuando el contenido se encuentra entre 1,25 y 2,5 meq.l<sup>-1</sup> las aguas son de dudosa aplicación para riego. Si se considera que en estiaje es el período de mayor necesidad para regadío, se puede concluir que es un atenuante saber que el CSR generaría una menor acumulación de los iones en el suelo; sin embargo la reducción no es suficiente para clasificarse en aguas buenas para riego, fundamentalmente porque el Ion Sodio se encuentra en proporciones similares tanto en la fase invierno como verano.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Salomón, M., Galarraga, R., Reyes, D., Rubio, C., Abraham, E. Determinación eco hidrológica de un organismo de cuenca en la serranía ecuatoriana. Caso de estudio: La cuenca del río Cutuchi. Quito.2004.
- [2] Cisneros, O., González, J., y Fuente, C. (2001). Perspectiva de aprovechamiento de las aguas residuales en la Agricultura. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua IMTA. México.
- [3] Ecuador Latacunga. (2011). Diagnóstico Estratégico cantonal. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Latacunga. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial; bienestar y desarrollo para el buen vivir. Capítulo I. Situación Ambiental. Latacunga: Gobierno Autónomo Descentralizado.
- [4] Ecuador MAGAP. (11 de 02 de 2005). Acuerdo Ministerial 012. Estatuto del sistema de riego del canal LATACUNGA–SALCEDO–AMBATO. Junta general de usuarios. Acuerdo Ministerial. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería
- [5] Auge. M., Hidrogeología de Llanuras. Cyted. Buenos Aires. 2009.
- [6] Carrera-Villacrés. D. Ortega-Escobar, H., Ramírez-García, J., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., Becerril-Román, A. (2011) Boro, Fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 2, abril-junio de 2011, 5-21
- [7] Lizcano, A., Herrera, M. y Santamarina, J. (2006). Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e infraestructura Civil. vol. 6 (2), 167.
- [8] Lavado. R.S., Evaluación de la relación entre composición química del agua y el grado de salinidad y sodicidad de distintos suelos. Rev. Facultad de Agronomía, 4 (2): 135-139, 1983
- [9] Andrade, et al. Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. IG-EPN. IRD.Corp Editora Nacional. Quito. Ecuador. 2005.
- [10] Mayorga\_Llerena E., Carrera-Villacrás. D., Salinidad de las aguas del Cutuchi y sus efectos en el canal latacunga Salcedo Ambato I Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra y de la Construcción. ESPE. Quito, 2013.
- [11] Cohiec. Manejo Integral de los recursos hídricos y tratamiento de las aguas servidas-Cuenca del río Cutuchi. Ed. CNRH. Bélgica. 2002.
- [12] López C.D., Ramírez J., Glaciares, Nieves y Hielos de América Latina. Cambio Climático y Amenazas. INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá. 2010.
- [13] Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1976). Water quality for agriculture Irrigation and Drainage paper. No.29. FAO. California State Library
- [14] Richards et al. (1954). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Dpto de Agricultura de los Estados Unidos de América. Manual de Agricultura No. 60.
- [15] Can, C. A., Ramírez, A.C., Ortega, E. M., Trejo, L.C., Cruz, D. J. (2011). Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, Estado de Hidalgo, México. Terra Latinoamericana, 26(3), 243-252.
- [16] Meza. L., (2009). Calidad de las aguas del río Lerma en relación con el riego agrícola. Campus Montecillo. México (Tesis de maestría inédita).
- [17] METCALF Y EDDY, Inc, "Ingeniería Sanitaria", segunda edición, Editorial Labor S.A. Barcelona, 1985
- [18] Parkin, C. N. (1994). Química para Ingeniería Ambiental. Ed. Interamericana. México.
- [19] Aceves, N., (2011). El ensalitrado de los suelos bajo riego. 2da Ed. Colegio de Posgraduados Editorial. Texcoco-Montecillo. Chapingo. BBA. México.
- [20] Aguilera, C. y Martínez, E. (1996). Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. 4ta Edición .Ed. Patronato de la Universidad Autónoma Chapingo Mexico. 256.
- [21] Terron, P. U. (1995). Tratado de Fitotecnia General. México: Mundi-Prensa.
- [22] Valverde, J. C. (2007). Riego y Drenaje. San José , Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia San José.
- [23] APHA/AWWA/WEF (1995). Standard Methods N° 2550 B, N° 4500-H+ B, N° 2510, N° 2540, N° 2540, N° 2540, N° 2340, N° 2320 B, 3.500 Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, D, 4.500 C-IB 1995, Azometina-H. (1995). N° 5220, N° 4500 E, millipore. (1995). Dilution Kit MTSK10025.
- [24] Barrios-Castillo I. (2014). Calidad de aguas naturales y residuales en el sistema hidrográfico valle del Mezquital, Hidalgo México. Colegio de Postgraduados Montecillo. México.
- [25] Baccaro, K. et al. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. RIA, 35 (3), 95-110
- [26] Wilcox, L., Blair, G., Bower, C., (1954). Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. Soil Science. 77: 259-266.
- [27] Sinagap. Boletín de precipitación temperatura. Tomado el 4 de julio de 2016 disponible en web: [http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/tematicos\\_nacionales/p\\_temperatura/2015/liboletin-precipitacion-y-temperatura-octubre.pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/tematicos_nacionales/p_temperatura/2015/liboletin-precipitacion-y-temperatura-octubre.pdf)
- [28] Diagnostico del plan de desarrollo del cantón Latacunga. 2016-2019.