

## **Processes controlling water chemistry and eutrophication in the basin of Río Grande, Chone, Ecuador**

CARRERA-VILLACRÉS, David<sup>`</sup>, GUEVARA-GARCÍA, Paulina<sup>``</sup>, GUALICHICOMIN-JUIÑA, Grace<sup>```</sup> y MAYA-CARRILLO, Azucena Maribel<sup>````</sup>

D. Carrera, P. Guevara, G. Gualichicomín y A. Maya

<sup>`</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí-Ecuador

<sup>``</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí-Ecuador

<sup>```</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí-Ecuador

<sup>````</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Sangolquí-Ecuador  
dvcarrera@espe.edu

D. Sepúlveda, R. Salazar, F. Pérez y J. Rocha (eds.) Ciencias Químicas y Matemáticas-©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

## **4 Introducción**

La provincia de Manabí, al oeste del Ecuador, cada año sufre la falta de agua para satisfacer la demanda de los habitantes y de las zonas de producción durante el periodo de estiaje; de manera contradictoria en época de lluvias el exceso de precipitaciones ocasiona pérdidas en éstos mismos sectores. Para satisfacer la demanda de agua y evitar que la ciudad de Chone se inunde, el Estado ecuatoriano, con una inversión de 66 millones de dólares, ejecuta el Proyecto Propósito Múltiple Chone (PPMCH) que tiene como objetivos la construcción de la presa de río Grande y la construcción de un sistema de riego para abastecer una demanda de aproximadamente 7000 ha. Las condiciones climáticas de la región la definen como una zona de características extremas, con precipitaciones anuales superiores a los 3500 mm (año 1998, fenómeno del Niño); y menores a los 500 mm. La temperatura media es de aproximadamente 25° C y la humedad relativa está en el orden del 85% (INHAMI, 2008) (SENAGUA, 2012). Por las marcadas diferencias en las precipitaciones resulta importante conocer y comprender los procesos químicos que ocurren en el agua, así como el fenómeno de eutrofización que tienden a generar las presas de éste tipo.

### **4.1 Objetivo**

El objetivo de éste trabajo fue determinar los procesos que controlan la química del agua a través de la concentración inorgánica y el régimen pluviométrico de la cuenca de río-Grande, además, se pretendió estimar la aceleración de los procesos de eutrofización que generaría la presa.

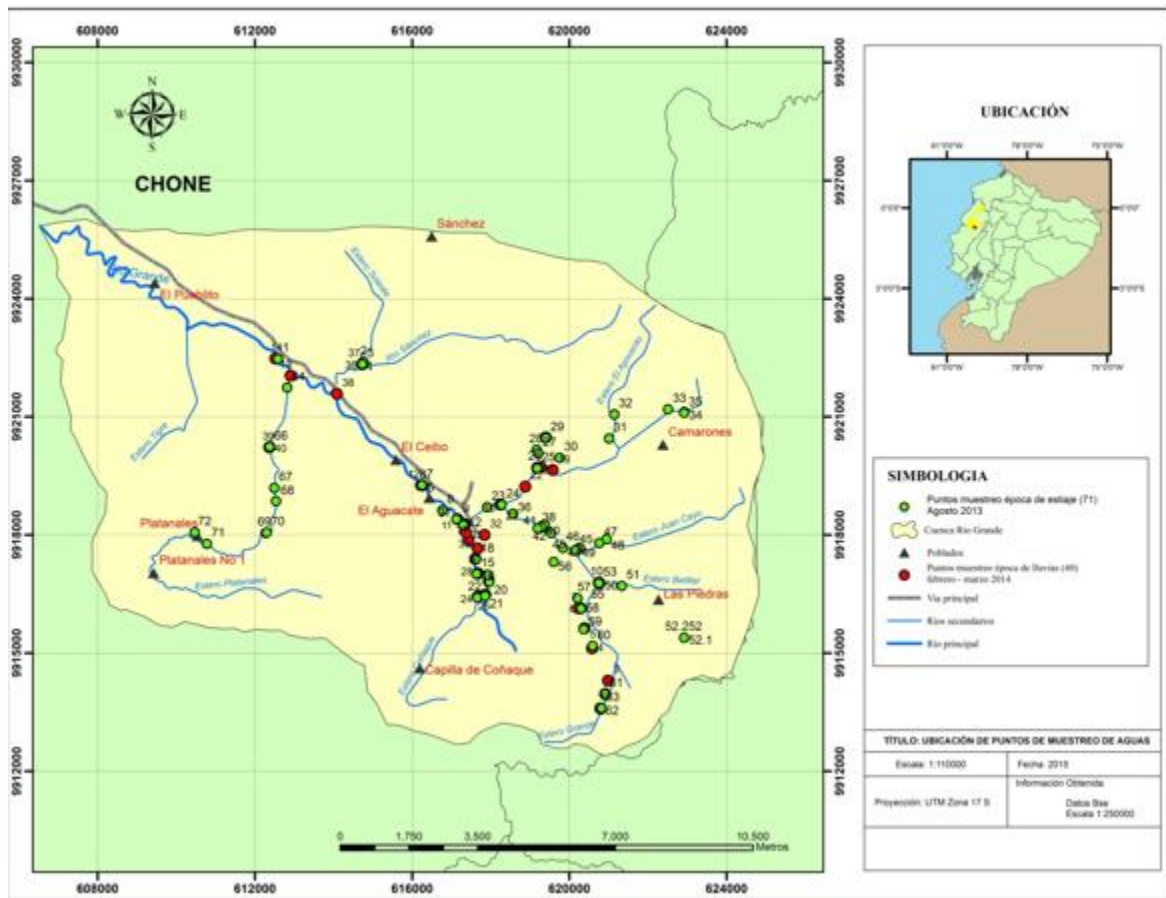
### **4.2 Materiales y métodos**

Para desarrollar el presente trabajo se realizó dos muestreos, el primero en época de estiaje y el otro en época de lluvias, tomando 71 y 40 muestras de agua respectivamente en toda la cuenca del río Grande. En la Figura 4 se indica los puntos de muestreo de aguas.

En primera instancia, mediante datos obtenidos de la estación M162 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) se determinó las variaciones anuales y mensuales de precipitación durante un período de 46 años, datos que fueron completados y validados anticipadamente de acuerdo a lo que propone Monsalve (2009).

La metodología de muestreo fue en toda la cuenca hidrográfica de río Grande, tanto el afluente principal como los secundarios que son: Guayacán, Juan Cayo, la Balsa, Coñaque, Sánchez y Platanales.

**Figura 4** Ubicación de los puntos de agua muestreados en época de estiaje y de lluvias



Los parámetros medidos en las muestras de agua de los diferentes sistemas hidrográficos que integran la cuenca de río Grande con la metodología de análisis se indican en la tabla 4.

**Tabla 4** Determinaciones para las aguas

Determinación	Método	Referencia
1. pH	Potenciómetro marca Beckman	NOM-AA-008-SCFI-2000
2. Conductividad eléctrica.	Conductímetro puente de Wheatstone con celdas de vidrio de rango 1-5	NOM-AA-93-1984
3. Sodio y potasio.	Absorción atómica	APHA, 1995.
4. Calcio más magnesio	Volumétrico titulación con EDTA (Merck, Titristol, Art. 9992)	APHA, 1995
5. Carbonatos	Volumétrico titulación con ácido sulfúrico (Merck, Titristol Art. 9984)	APHA, 1995
6. Bicarbonatos	Volumétricos titulación con ácido sulfúrico (Merck, Titristol Art. 9984) 0.01N	APHA, 1995
7. Cloruros	Mohr. Titulación con nitrato de plata (Merck, Nitrato de Plata en solución, Art. OC248386)0.01 N. Indicador cromato de potasio al 5%	APHA, 1995
8. Sulfatos	Turbidimetría	APHA, 1995
9. Fosfatos	Espectofotómetro Marca Hach.	APHA, 1995

Con los resultados obtenidos se elaboraron curvas de distribución de los diferentes aniones y cationes de acuerdo al sistema hidrográfico, la altitud y los diferentes períodos, para observar cuál es la distribución de la concentración inorgánica de las aguas. Además, para comprender las variaciones producidas por las marcadas condiciones climáticas se empleó la curva que controla los procesos químicos del agua superficial propuesta por Gibbs (1970).

Los procesos de aceleramiento de la eutrofización que generaría la construcción de la represa fueron evaluados de acuerdo a los límites que propusieron Sharpley y Withers (1994).

### 4.3 Discusión y resultados

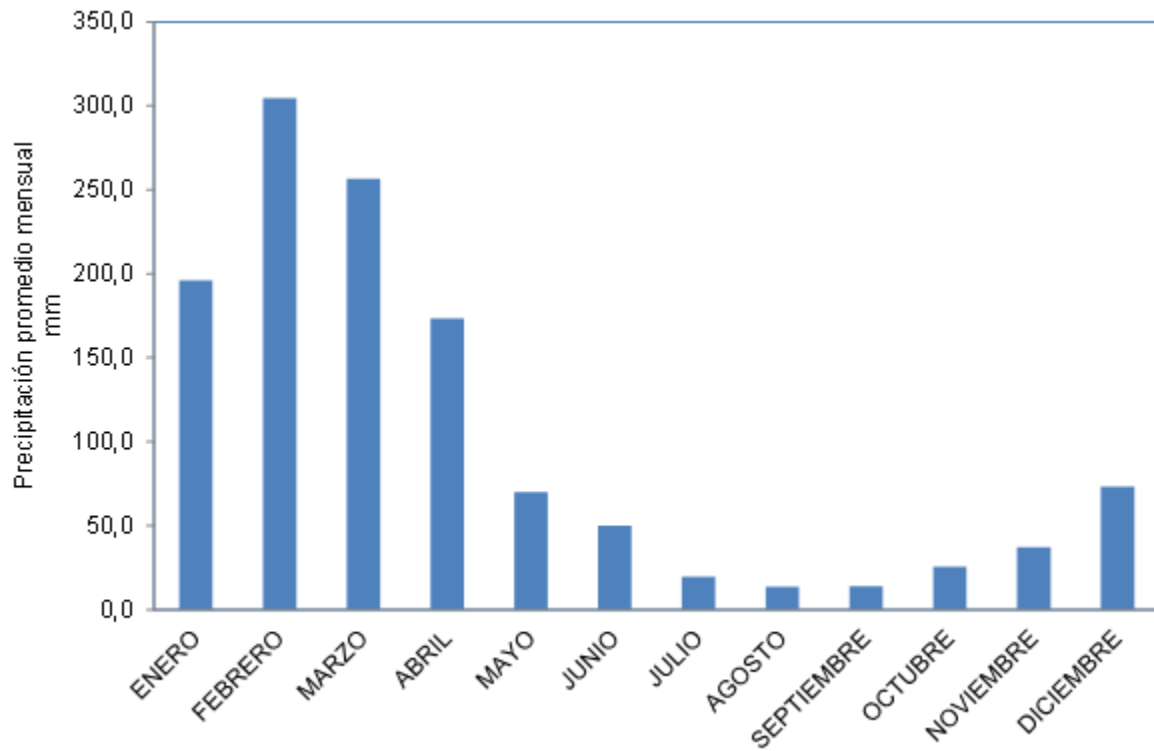
#### Precipitación

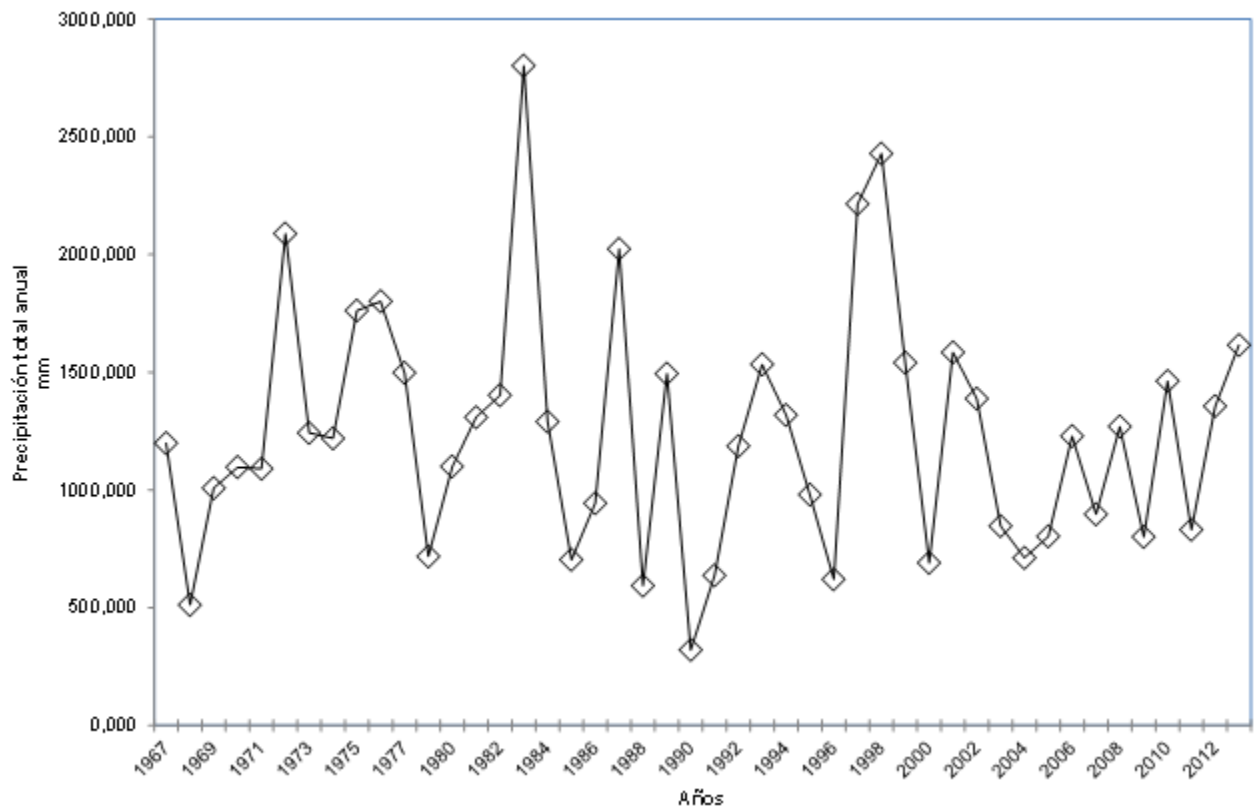
Antes de determinar las variaciones mensual y anual de las precipitaciones los datos de la estación M162 de Chone fueron completados y verificados estadísticamente, para ello se utilizó también la estación M005 de Portoviejo. La variación en la precipitación mensual y anual de la estación M162 se observa en las Figuras 4.1 y 4.2.

De acuerdo a la figura 4.1 se observó que los valores de precipitación más altos están en los meses de enero, febrero y marzo, éste periodo de tiempo en el Ecuador se lo conoce como invierno.

La figura 4.3 demuestra que las precipitaciones más altas están en los años 1972, 1983, 1998 y 1999 precisamente cuando ocurrió el fenómeno del Niño, en cuanto a las precipitaciones mínimas se puede concluir que en todos los años hubo una sequía marcada. En los últimos 12 años, entre 1997 y 1998 fueron las precipitaciones medias más altas. El resto de años presentaron precipitaciones medias relativamente constantes.

**Figura 4.1** Variación mensual de la precipitación en una serie de 46 años (estación M162)



**Figura 4.2** Variación anual de la precipitación, estación M162

La cuenca hidrográfica del río Grande, donde se construye el PPMCH tiene un comportamiento hidrológico variado, desde precipitaciones que superan los 2500mm que aguas abajo generan inundaciones y pérdidas económicas, hasta precipitaciones con valores inferiores a los 500mm ocasionando pérdidas en los campos de cultivo por falta de agua para riego.

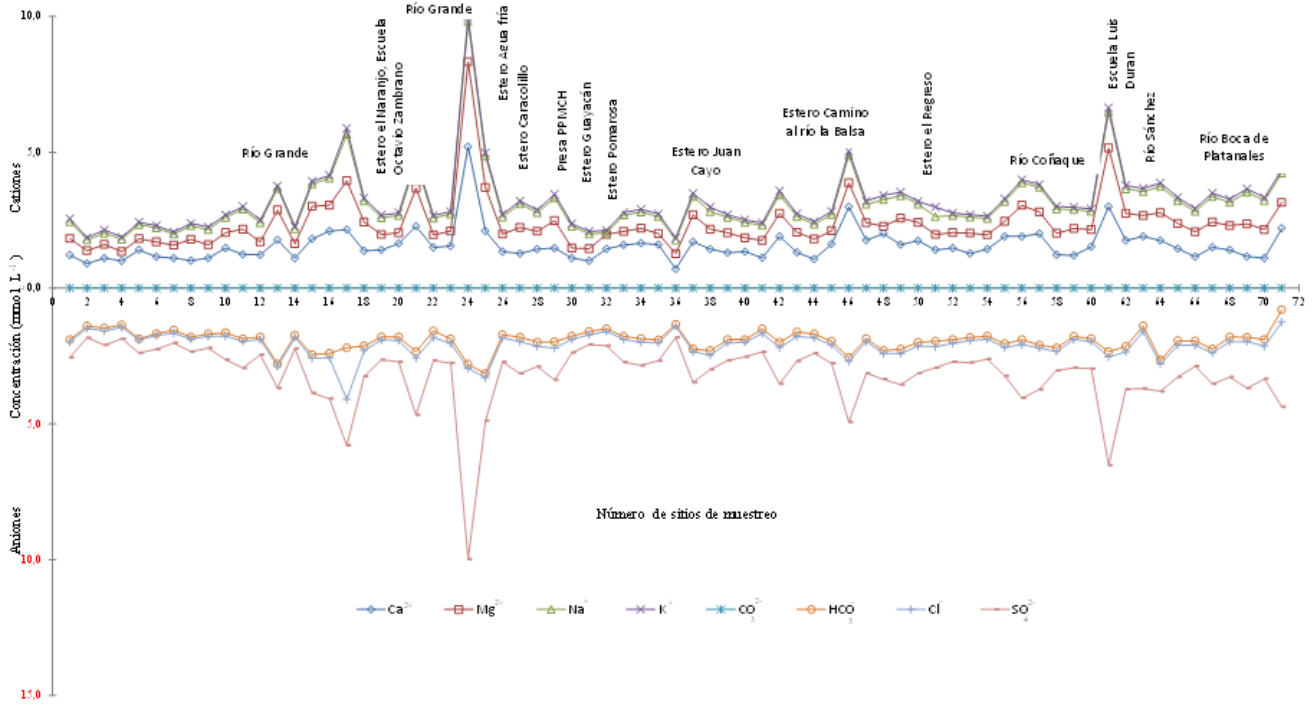
### Distribución de aniones y cationes

En los resultados de las muestras de estiaje y de lluvia se determinó una alta concentración de bicarbonatos en el afluente principal y los afluentes secundarios a excepción de cuatro puntos donde el elemento predominante fue el calcio.

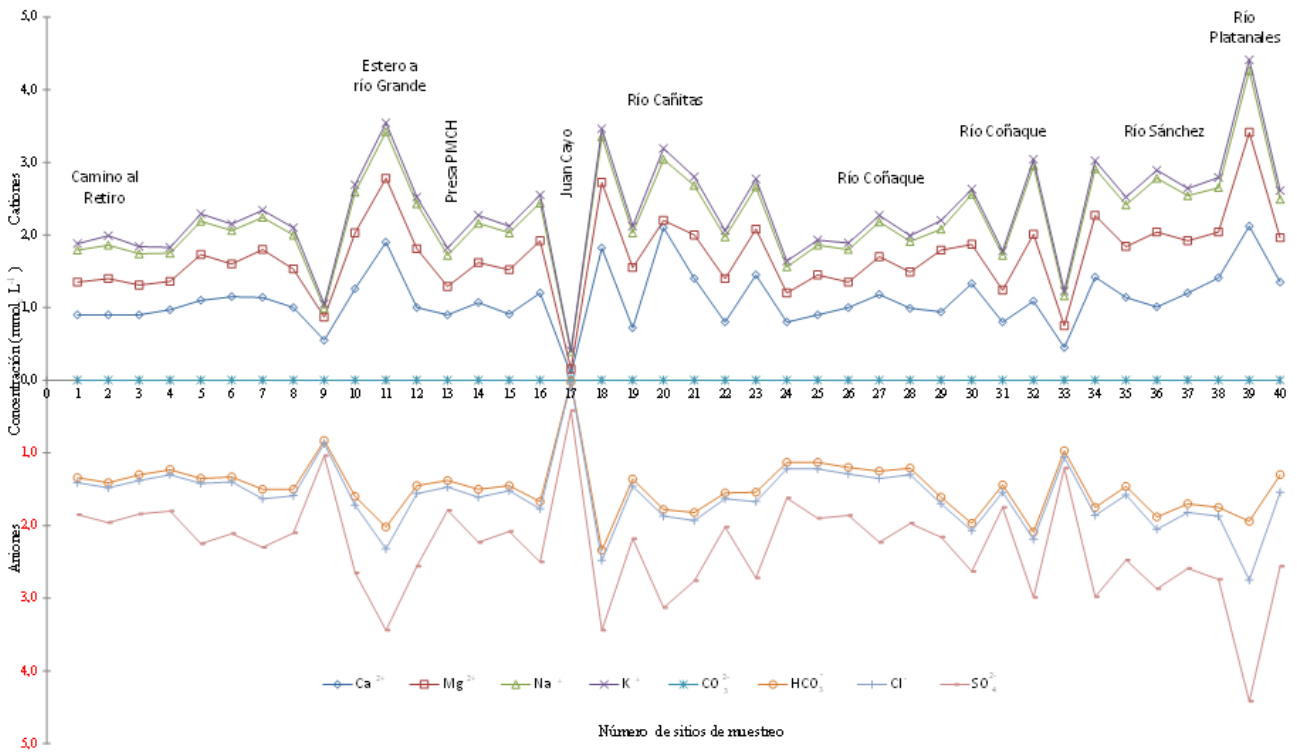
Para justificar el contenido de bicarbonatos en las muestras de estiaje, es importante mencionar que los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza, definida por la geología de la zona (Carta Geológica de Chone MIII-F2 3591-I, 1979). A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua (CO<sub>2</sub> atmosférico o CO<sub>2</sub> generado en sedimentos ricos en materia orgánica (Fuentes y Masoll, 2002). En cuanto a la superioridad del calcio en ciertas zonas, esto indica que los minerales predominantes son los feldespatos, además la geología del lugar describe que la zona de estudio posee restos fósiles, los que tienen como componente principal al calcio.

En las Figuras 4.3 y 4.4 se presentan la distribución de aniones y cationes en los diferentes sistemas hidrográficos que conforman la cuenca del río Grande para la época de estiaje y de lluvias.

**Figura 4.3** Distribución de iones del muestreo de aguas (estiaje) de la cuenca en donde se construye el PPMCH



**Figura 4.4** Distribución de iones y cationes del muestreo de aguas (época de lluvia)



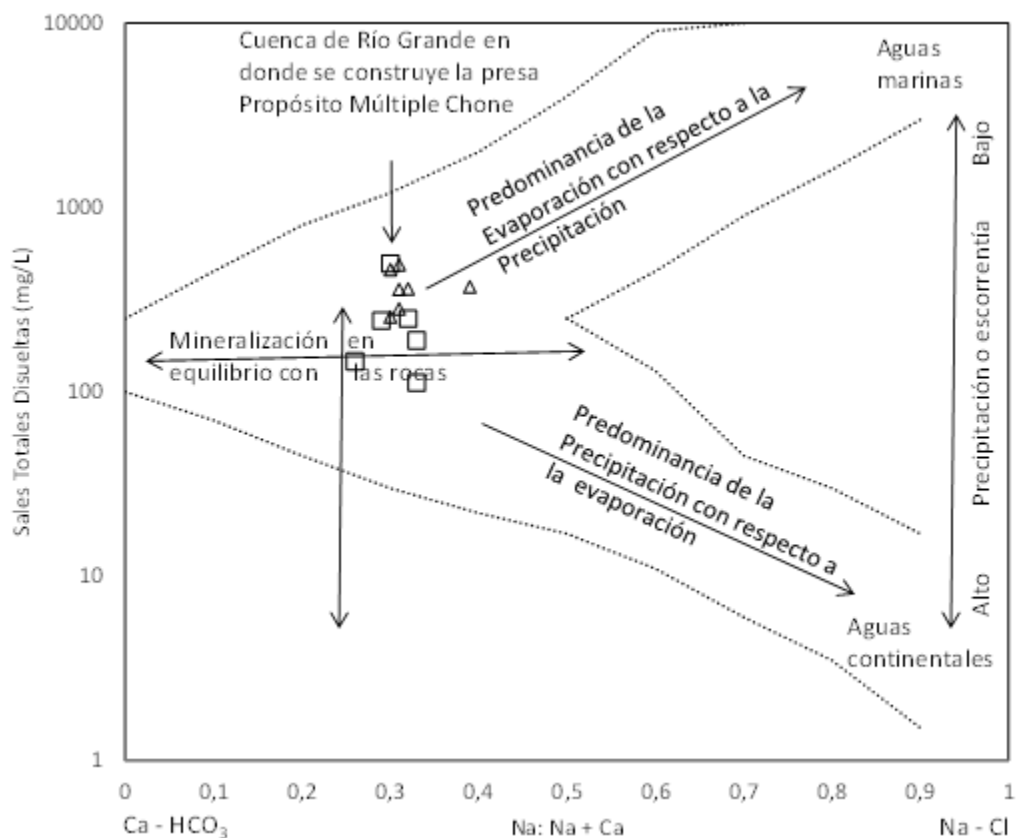
En la Figura 4.5 se observó que el mayor contenido de sales está en el punto 24 perteneciente al río Grande, esto se debe a que este es el punto de descarga de todos los afluentes secundarios que tienen mayor concentración.

### Diagrama que representa los procesos que controlan la química de las aguas superficiales

Gibbs (1970) identificó tres mecanismos naturales que controlan la química del mundo de las aguas continentales superficiales: la mineralización en equilibrio con las rocas, predominancia de la evaporación con respecto a la precipitación y predominancia de la precipitación con respecto a la evaporación.

Para definir el comportamiento de la cuenca del río Grande se agrupó las estaciones por sistemas hidrográficos, resultando seis en la época de lluvias y siete en periodo de estiaje. De cada uno de los sistemas se obtuvo el valor promedio de los sólidos totales disueltos y de la relación Na:(Na+Ca) (Figura 4.5).

**Figura 4.5** Puntos de agua de la época de estiaje ( $\Delta$ ) y de lluvia ( $\square$ ), ubicados en la curva de salinidad de Gibbs



Los resultados indican que las aguas del periodo de estiaje presentaron la tendencia a una concentración del tipo clorhídrico – sódico, es decir, estaría aumentando el potencial osmótico de las aguas lo cual ocasionaría, si se mantiene la tendencia, un impacto negativo para la biota de la cuenca de río Grande. Además, la precipitación o escorrentía tienden a la baja, es interesante, si se considera que la cuenca de río Grande se localiza en el Ecuador en donde las precipitaciones son altas en comparación con el resto del planeta.



La precipitación se está reduciendo y la concentración de las aguas de río Grande aumentando, así, es necesario establecer un plan de manejo ecosistémico de la cuenca hidrográfica en donde se construye el PPMCH.

### **Eutrofización**

El fósforo deviene en la naturaleza desde las profundas masas fundidas, por las finas agujas de apatita y termina en los filtros vivientes, microorganismos que se apoderan del fósforo de las disoluciones débiles del agua del mar. El destino del fósforo está ligado a los procesos de la vida y la muerte, este elemento se acumula donde muere la vida orgánica y donde tiene lugar la muerte en masa de animales, como son los puntos de enlace de las corrientes marítimas donde se dan los cementerios submarinos. El fósforo se concentra en la tierra de dos formas: en los yacimientos profundos de apatito, que vienen de los magmas fundidos calientes o en los restos de las partes óseas de los animales (Fersman, 1971).

No existe una interacción directa del fósforo con la atmósfera, a lo contrario de lo que sucede con el azufre, por consiguiente, el fósforo es el elemento a estudiar en los procesos de eutrofización (Sharpley y Withers, 1994; Kronvang et al., 2009). Una manera de remediar el exceso de fósforo en lagos es utilizando a gran escala el sulfato de aluminio, ya que desempeña un doble papel como adsorbente de fósforo soluble y coagulante de sólidos suspendidos (Welch y Cooke, 1999; Mason et al., 2005),

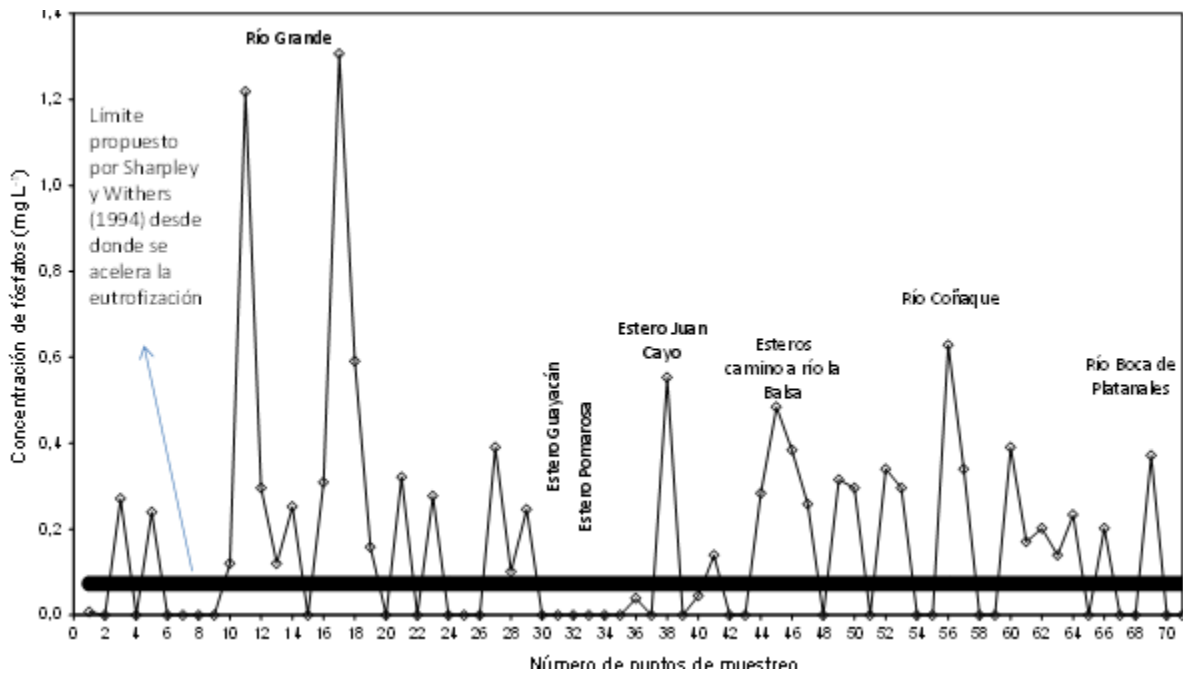
Los resultados obtenidos del muestreo en época de estiaje indican que el 36,36% de los puntos de agua no aceleran la eutrofización y el 63,64% aceleran la eutrofización, para las muestras en época de lluvias el 19,51% no acelera la eutrofización mientras que el 80,49% aceleran la eutrofización.

El contenido de fósforo en la cuenca de río Grande se debe al pasado geológico ya que se resalta la presencia de restos fósiles, donde el principal componente es el fosfato cálcico. Cuando los organismos quedan enterrados en el sedimento, lo primero que sucede es la destrucción de la materia orgánica blanda, formando una masa rica en nutrientes que es consumida por las bacterias, y que puede dar lugar a la formación de petróleo. Las partes duras como los huesos y conchas sufren un proceso de mineralización por intercambio y aporte de sustancias químicas con el sedimento que los contiene, estos procesos pueden ser muy variados, pero los principales son: carbonatación, silicificación, piritización y fosfatación (Szabolcs, 1989). Probablemente la fosfatación ocurre en la zona de estudio por la presencia de minerales como el calcio y el fósforo.

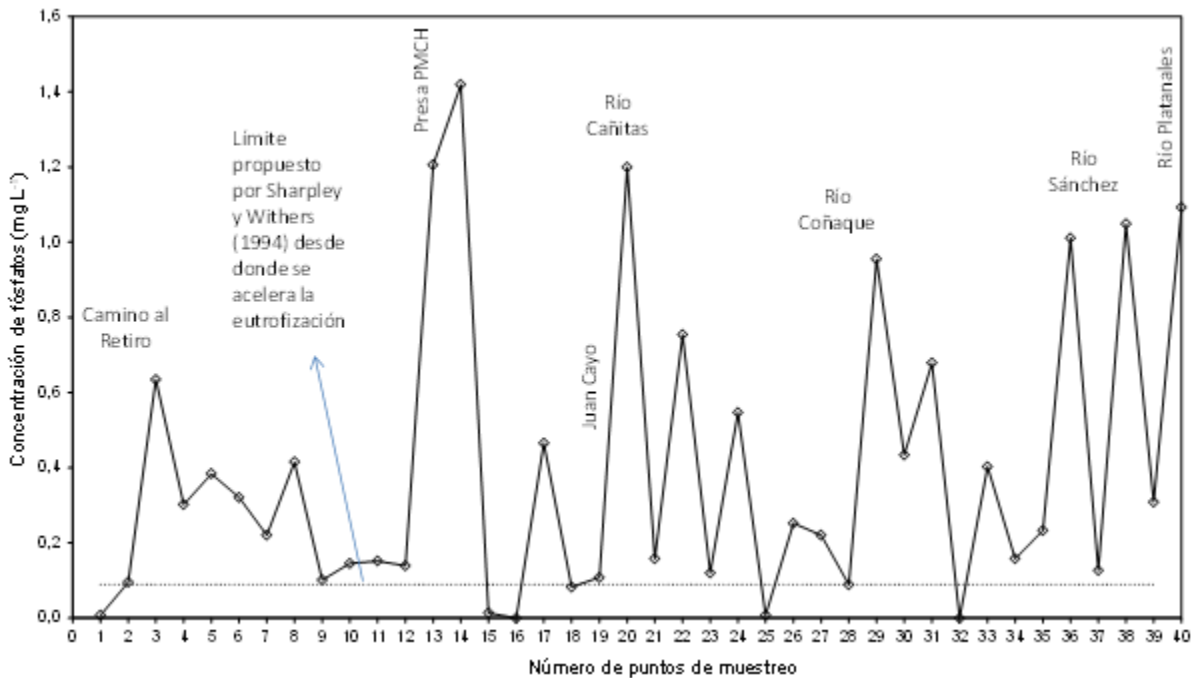
En las Figuras 4.6 y 4.7 se presenta la concentración de los fosfatos en los sistemas hidrográficos que conforman la cuenca del río Grande y que drenan sus aguas hacia el PPMCH para la época de estiaje y de lluvia respectivamente.

Los resultados indicaron que los procesos de eutrofización se está acelerando en la cuenca de río Grande, debido a que en el invierno la concentración máxima fue de 1,4 mg L<sup>-1</sup>, mientras tanto, en el verano fue de 1,2 mg L<sup>-1</sup> en el lugar en donde se construye la presa. Cuando la presa finalice con seguridad estas concentraciones aumentarán sin un adecuado plan de manejo de la cuenca.

**Figura 4.6** Concentración de fosfatos en los diferentes sistemas hidrográficos de la Cuenca de Río Grande (época de estiaje)



**Figura 4.7** Concentración de fosfatos en los diferentes sistemas hidrográficos de la Cuenca de Río Grande (época de lluvia)



#### 4.4 Conclusiones

La cuenca hidrográfica de río Grande, en donde se construye el PPMCH, presentó una irregular distribución de lluvias en un período de 46 años.

En el fenómeno del niño las precipitaciones superaron los 2500mm generando inundaciones, mientras que en otros años, existió una sequía con precipitaciones que no alcanzaron los 500mm al año.

Los procesos que controlan la química del agua superficial de los sistemas hidrográficos que forman río Grande se encuentran en la zona de mineralización en equilibrio con las rocas, sin embargo, en el periodo de estiaje se observó la tendencia hacia la zona donde predomina la evaporación con respecto a la precipitación aumentando la concentración de las aguas, generando así, problemas a los recursos bióticos. Los procesos de eutrofización se acelerarán en más del 60% de las estaciones monitoreadas lo que va a producir serios problemas en la represa si no existe un plan de manejo adecuado en la cuenca alta.

#### 4.5 Referencias

APHA. American Public Health Association. 1995. Standard Methods for the examination of water and wastewater 19th edition. Publication office American Public Health Association, Washington D.C. Chapter 1 p.45; Chapter 2 p.88; Chapter 3 p. 106 and Chapter 4 p.124.

Carta Geológica de Chone MIII-F2 3591-I. (1979).

Fersman, A. (1971). Geoquímica Recreativa. Ediciones Martínez Roca. p. 343.

Fuentes, F., & Massol-Deya, A. (2002). Manual de laboratorio, ecología de microorganismos. Puerto Rico.

Gibbs, R.J. (1970) Mechanisms controlling world water chemistry, Science, 170: 1088-1090.

INAMHI. (2008). Estudio Hidrológico de Inundaciones en la Cuenca Alta del Río Chone. Quito, Ecuador.

Kronvang, B., G. H. Rubæk and G. Heckrath. (2009). International Phosphorus Workshop: Diffuse Phosphorus Loss to Surface Water Bodies Risk Assessment, Mitigation Options, and Ecological Effects in River Basins. Journal Environmental Quality. 38: 1924-1929.

Mason, L., C. Amrhein, C. Goodson, M. Matsumoto and M. Anderson. (2005). Reducing sediment and phosphorus in tributary waters with alum and polyacrylamide. Journal Environmental Quality. Vol. 34. pp. 1998 - 2004.

Monsalve, G. (2009). Hidrología en la Ingeniería. (1ra ed. 3ra Reimp.) Alfaomega

NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua – Determinación del pH – Método de prueba.

NOM-AA-93-1984. Contaminación del agua – Determinación de conductividad eléctrica.

SENAGUA. (2012). Secretaria Nacional del Agua, Ecuador. Construcción del Puente San Pablo en el canal San Antonio. Chone.

Sharpley, A. N. and Winters, P. 1994. The environmentally-sound management of agricultural phosphorus. Netherlands. Fertilizer Research Vol. 39:133-146.

Szabolcs, I. (1989). Salt-Affected Soils. CRC Press, Inc. Printed in the United States, Boca Raton, FL. p. 274.

Welch, E. B. and G. D. Cooke. (1999). Effectiveness and longevity of phosphorus inactivation with alum. *Lake Reservoir Manage.* 15: 5–27.