

Artículo Original

Aptitud para Riego del Proyecto Propósito Múltiple Chone Mediante la Relación de Absorción
de Magnesio

Chone Multipurpose Project Irrigation Suitability Through Magnesium Absorption Ratio

Joaquín A. Naranjo Palomeque, Nathaly B. Hinojoza Cordero, Mishell D. Lara Doicela, María S.

Montaluisa Mantilla,

Universidad Central del Ecuador, y

David V. Carrera Villacrés

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

La correspondencia sobre este artículo debe ser dirigida a Joaquín A. Naranjo Palomequ

Email: janaranjop1@uce.edu.ec

Fecha de recepción: 6 de octubre de 2017.

Fecha de aceptación: 11 de marzo de 2018.

¿Cómo citar este artículo? (Normas APA): Naranjo Palomeque, J., Hinojoza Cordero, N., Lara Doicela M., Montaluisa Mantilla, M.S., Carrera Villacrés, D.V. (2018). Aptitud para Riego del Proyecto Propósito Múltiple Chone mediante la Relación de Absorción de Magnesio. *Revista Científica Hallazgos21*, 3 (Suplemento Especial). Recuperado de <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos> 21

Revista Científica Hallazgos21. ISSN 2528-7915. Periodicidad: cuatrimestral (marzo, julio, noviembre).
Director: José Suárez Lezcano. Teléfono: 2721459, extensión: 163.
Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas. Calle Espejo, Subida a Santa Cruz,
Esmeraldas. CP 08 01 00 65. Email: revista.hallazgos21@pucese.edu.ec.
<http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

Resumen

La cuenca del río Chone, ubicada en la provincia de Manabí, está formada por cuatro microcuencas: río San Lorenzo, río Garrapata, río Mosquito y río Grande. El Proyecto Multipropósito Chone (PPMCH) se instaló en el río Grande con dos finalidades: dotar de agua potable al cantón y proveer de agua para riego a la población que allí se dedica a la agricultura, mediante un sistema de desagüe, que también evite las inundaciones provocadas por el fenómeno de El Niño. Esta investigación tuvo como objetivo establecer la aptitud para riego del agua del PPMCH, en base a la variación de dureza total, cálcica y magnésica en la cuenca del río Grande, antes (2014) y después (2017) de que entró en operación la presa del PPMCH. Se seleccionaron 17 puntos de muestreo, de los cuales, uno se ubicó en el embalse del PPMCH y los restantes, aguas arriba del río Grande. Para medir la dureza total y cálcica, se empleó el método APHA 2340 Hardness; la dureza magnésica se calculó con la diferencia de volúmenes de valoración de ambas titulaciones y la aptitud para riego en 2017 se estableció a partir de la Relación de Absorción de Magnesio (MAR). De acuerdo a los cálculos de la MAR, el 70.6% de los afluentes aguas arriba del río Grande, no son adecuados para riego, por lo que se debería considerar el ablandamiento de éstas o la adición de calcio como enmienda para equilibrar las relaciones de intercambio iónico en el suelo.

Palabras clave: carbonato de calcio (CaCO_3); cationes; dureza; magnesio; volumetría.

Abstract

Chone basin is located in the province of Manabí and is formed by four micro basins: San Lorenzo river, Garrapata river, Mosquito river and Grande river. Chone Multipurpose Project (CHMPP) was installed at the Grande river, with two purposes: to provide drinking water to the canton and to provide water for

irrigation to the population that is dedicated to agriculture, through a drainage system, which also avoids floods caused by El Niño phenomenon. This research aimed to establish the suitability for irrigation of the water of the CHMPP, based on the total, calcium and magnesium hardness variation in the Grande basin, before (2014) and after (2017) the dam began to operate. 17 sampling points were selected: one of them was in the CHMPP reservoir and the remaining ones, upstream of the Grande river. To measure total and calcium hardness, the APHA 2340 Hardness method was used; magnesium hardness was calculated with the difference of titration volumes and the soil suitability for irrigation in 2017 was established from the Magnesium Adsorption Ratio (MAR). According to the MAR, 70.6% of the tributaries upstream of the Grande river are not suitable for irrigation, so consideration should be given to the softening of these waters or the addition of calcium as amendment to balance ion exchange ratios in soil.

Keywords: calcium carbonate (CaCO_3); cations; hardness; magnesium; titration.

Aptitud para Riego del Proyecto Propósito Múltiple Chone mediante la Relación de Absorción de Magnesio

La cuenca del Río Chone, ubicada en la provincia de Manabí, está formada por cuatro microcuencas: río San Lorenzo, río Garrapata, río Mosquito y río Grande. En este último se instaló el Proyecto Multipropósito Chone (PPMCH), cuyo embalse tiene capacidad para 113 millones de metros cúbicos de agua. Los propósitos del proyecto son potabilización, riego para 2250 hectáreas de cultivos (maíz, cítricos, cacao, café, plátano, banano, yuca y hortalizas) y mitigación del efecto de las inundaciones provocadas por el fenómeno de El Niño, causante del desborde de los ríos (Secretaría Nacional del Agua, 2010).

En términos generales, la construcción de presas supone la afectación a ecosistemas que dependen de un flujo muy particular de agua

y un cambio drástico de uso de suelo, con la pérdida neta de una extensión considerable de la cubierta vegetal y la degradación de tierras agrícolas y de pastoreo en el área de inundación del embalse. Este tipo de proyectos también implica el desplazamiento forzado de un gran número de personas, etnias o grupos sociales minoritarios (Martínez Yrizar, Búrquez, y Calmus, 2012); con el PPMCH, este valor asciende a aproximadamente 1700 familias (Anchundia, 2012), las cuales forman parte de los pueblos montubios reconocidos en la Constitución y se incluyen dentro del 43.4% de la población del cantón que se dedica a la agricultura (Sistema Nacional de Información, 2014).

El clima de la zona varía de cálido seco a cálido en los meses de junio a noviembre, que corresponden a la época de verano; durante los meses de diciembre a mayo, es lluvioso por ser época de invierno. La temperatura se encuentra entre 22.8 y 33.7 °C, y la precipitación media anual es de 1113 mm/año (Centro del Agua y Desarrollo Sustentable, 2012).

El área del proyecto pertenece a la región geológica costanera, cuyo basamento y algunas unidades geológicas fueron acrecionadas por efecto del sistema de convergencia de las placas tectónicas. Desde la cuenca baja del río Grande hacia los respaldos de los afluentes principales, se distinguen los terrenos de la Formación Onzole (lutitas, limolitas y lodolitas) y la suprayacente Formación Borbón (areniscas, lumaquelas y conglomerados). En la zona del proyecto, es común encontrar grandes concreciones calcáreas dolomíticas y lentes del tipo de roca caliza denominada toba; ambas rocas se componen de carbonato de calcio y magnesio (Secretaría Nacional del Agua, 2010).

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la variación de dureza total (expresada como carbonato de calcio, CaCO_3), cálcica (Ca^{2+}) y magnésica (Mg^{2+}) en la cuenca del río Grande, antes (2014) y después (2017) de que entró en operación la presa del PPMCH,

así como establecer la aptitud de estas aguas para riego a partir del cálculo de la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR), que mide el riesgo de afectación al suelo por irrigación con agua de alta concentración de Mg^{2+} .

Método

El presente trabajo fue de tipo no experimental, transversal y descriptivo. En 2013, Carrera-Villacrés, Guevara-García, Maya-Carrillo & Crisanto (2015) muestrearon y analizaron la composición inorgánica del agua en 111 puntos de la cuenca del Río Grande, de los cuales, 17 fueron seleccionados para continuar el estudio en la época de lluvia de 2014 y de 2017 (véase la Tabla 1).

Cabe recalcar, que el punto 1 corresponde al embalse del PPMCH, mientras que los restantes se ubican aguas arriba del Río Grande, como se observa en la Figura 1, elaborada con el programa ArcGIS, que tiene licencia 10.3.1 en el Laboratorio de Cómputo de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental.

En 2017, se determinó dureza total y cálcica, mediante el método APHA 2340 *Hardness* de la American Public Health Association (2012), en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador.

La dureza del agua está relacionada con la cantidad de cationes metálicos, excepto metales alcalinos, que están presentes en ella y que pueden existir como carbonatos o bicarbonatos. Entre estos metales, están: calcio, magnesio, hierro, bario y estroncio. Debido a que la concentración de los iones calcio y magnesio es mayor que la de los demás cationes, se asume que la dureza del agua está representada por el contenido de estos iones, expresado como carbonato de calcio, CaCO_3 (Millán, Mathison, Alvares, & Jarbough, 2003).

Tabla 1
 Descripción de los puntos de muestreo

No.	Longitud (m)	Latitud (m)	Altura (msnm)	Descripción
1	610269	9923230	34	Embalse PPMCH
2	612953	9922030	40	Río Grande
3	614059	9921570	36	Intersección río Grande con río Platanales
4	614579	9920990	47	Intersección río Grande con río Sánchez
5	615292	9920250	42	Río Grande
6	615846	9919650	43	Río Grande
7	616320	9919240	46	Río Grande
8	616899	9918700	50	Intersección río Grande con estero El Aguacate
9	617088	9918490	50	Afluente menor río Grande
10	617188	9918410	54	Esteros S/N
11	617940	9917000	84	Intersección río Grande con estero Agua Fría
12	617862	9916460	82	Esteros la Mina
13	617623	9916380	79	Esteros Coñaque
14	618273	9918730	62	Esteros Guional
15	619217	9919720	71	Río Cañitas
16	619175	9919990	76	Intersección río Cañitas con estero El Regreso
17	619754	9919510	86	Esteros El Regreso

Fuente: Adaptado de Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P., & Maya, M. (2015).

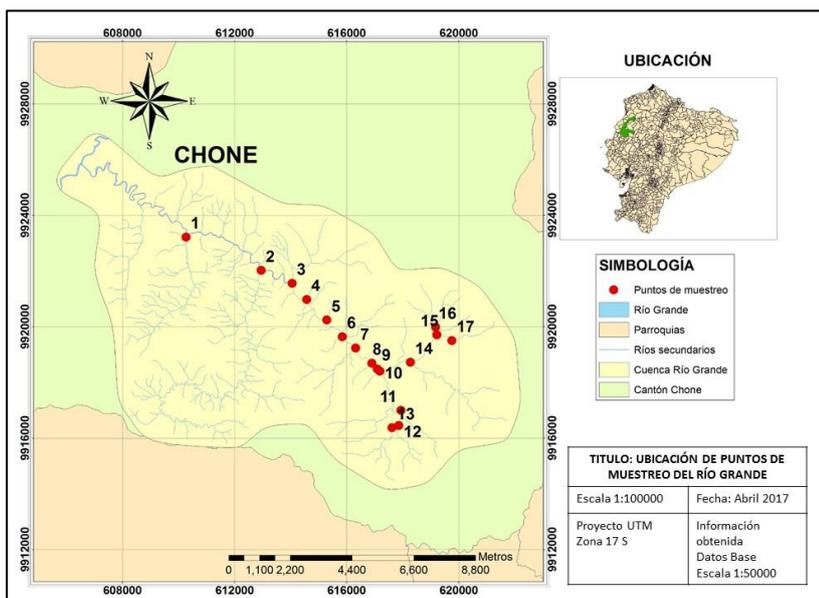


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo de aguas en la cuenca del río Grande.

Fuente: Elaborado por los autores (2017).

La dureza total y la dureza cálcica se calcularon con la fórmula establecida en el método seleccionado:

$$\text{Dureza (EDTA) en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{mL muestra}},$$

donde A son los mililitros de valoración de la muestra y B son los miligramos de Ca^{2+} ó CaCO_3 equivalentes a 1.00 mL del titulante EDTA.

Para calcular la dureza magnésica, se empleó la diferencia de volúmenes de valoración de ambas titulaciones.

Para clasificar el agua según su dureza total, se utilizaron los rangos de concentración de

CaCO₃ que establece la Organización Mundial de la Salud (2011), los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación del agua por su dureza

CaCO ₃ (mg/L)	Tipo de agua
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
> 180	Muy dura

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS)

Para establecer si las aguas de la cuenca del río Grande son apropiadas o no para riego, se midió la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR) con la ecuación de Paliwal (1972):

$$MAR = \frac{(Mg^{2+} \times 100)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$$

donde las concentraciones de ambos iones se expresan en meq/L. Este índice se evalúa a partir de los criterios de la Tabla 3.

Tabla 3

Categorías de la Relación de Adsorción de Magnesio

MAR	Uso del agua para riego
< 50 %	Apto
> 50 %	No apto

Fuente: Adaptado de Naq, S. K., & Das, S.

Además, para estudiar la variación temporal de los parámetros calculados, se elaboraron diagramas de barras y se generaron mapas de distribución espacial de la dureza total y de la MAR con la herramienta de interpolación IDW del programa ArcGIS.

Resultados y Discusión

Dureza Total

De acuerdo con Carrera-Villacrés (2007), la dureza de las aguas está relacionada con la concentración de las sales de Ca²⁺ y Mg²⁺, por lo que se la expresa como CaCO₃. En la Tabla 4, se observan los resultados de dureza total, Ca²⁺ y Mg²⁺ para los años de análisis (Ver Tabla 4).

En la Figura 2, se compara el tipo de agua en los 17 puntos de muestreo para 2014 y 2017, acorde con la clasificación por dureza de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Las variaciones más significativas de dureza total se observan en los puntos 4 y 15: en el río Sánchez, con el cambio de dura a muy dura y en el río Cañitas, de moderadamente dura a muy dura.

En 2014, en el punto donde ahora se encuentra el embalse del proyecto, la dureza total medida fue de 81.02 mg CaCO₃/L; en 2017, la dureza en este mismo punto fue de 110 mg CaCO₃/L. A pesar de que el agua en el sitio del embalse mantiene su categoría de moderadamente dura, se produjo un incremento del 36%, el cual podría ser mayor en los próximos años.

En 2014, el 3.7% de las aguas eran blandas, el 77.2% eran moderadamente duras y el 19.1% eran duras; mientras que, en 2017, el 33.5% son moderadamente duras, el 30.7% son duras y el 35.8% son muy duras. El incremento en los valores de dureza total en el tramo situado aguas arriba de la zona del embalse puede deberse a la modificación del flujo del río Grande, al encontrarse con la masa de agua embalsada. Al sustituir el flujo natural de un río, con sus corrientes y remansos (régimen lótico), por un flujo de aguas lentas, casi quietas (régimen léntico), se producirá un depósito de sedimentos de diversa granulometría en el tramo de río afectado, causando modificaciones tanto en las propiedades físicas como químicas del agua (Ruiz del Portal, 2003), como el aumento de la dureza por el desgaste y disolución de rocas sedimentarias que contienen carbonatos

de calcio y magnesio, tales como caliza (Fuentes y Massol-Deyá, 2002) y concreciones dolomíticas.

El agua dura es indeseable para el uso doméstico, como el lavado de vajilla, utensilios, ropa y la higiene personal. Al lavar

Tabla 4
 Dureza cálcica, magnésica y total 2014-2017

No.	2014			2017		
	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	CaCO ₃ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	CaCO ₃ mg/L
1	21.44	6.68	81.02	28.00	9.72	110.00
2	18.04	4.74	64.55	24.00	12.15	110.00
3	28.26	7.65	102.04	24.00	19.44	140.00
4	42.48	15.67	170.55	32.00	136.08	640.00
5	22.04	7.65	86.51	28.00	17.01	140.00
6	20.04	9.84	90.53	16.00	19.44	120.00
7	18.04	5.47	67.55	20.00	9.72	90.00
8	38.08	10.69	139.08	24.00	14.58	120.00
9	28.46	10.33	113.57	20.00	12.15	100.00
10	22.85	8.51	92.08	24.00	17.01	130.00
11	26.65	6.56	93.54	24.00	24.30	160.00
12	18.04	6.68	72.53	20.00	29.16	170.00
13	16.03	4.86	60.03	24.00	24.30	160.00
14	25.25	9.36	101.57	24.00	12.15	110.00
15	42.08	1.22	110.09	32.00	80.19	410.00
16	28.06	7.29	100.06	28.00	9.72	110.00
17	14.43	10.08	77.51	20.00	14.58	110.00

Fuente: Datos 2014 tomados de Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P., & Maya, M. (2015) y datos 2017 obtenidos con el ensayo de dureza por el método *APHA 2340 Hardness* en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador (2017).

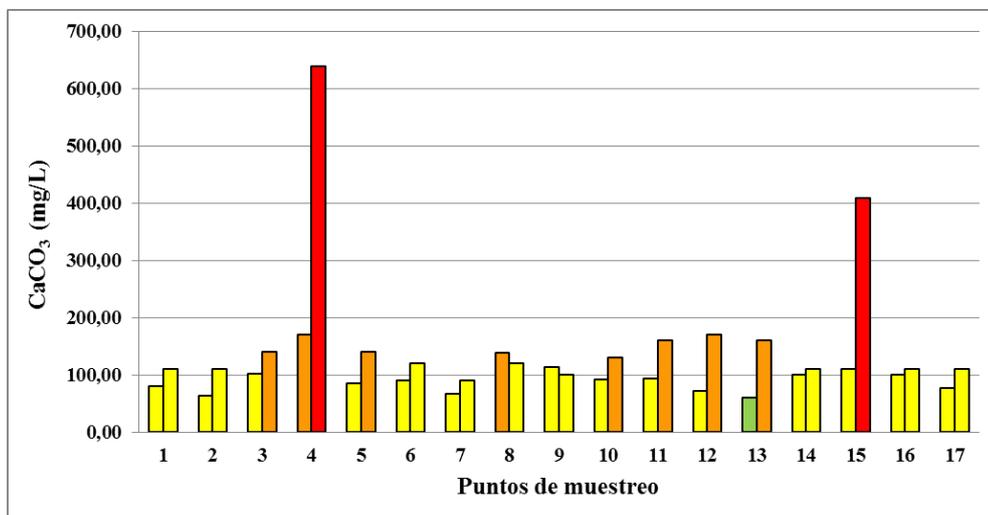


Figura 2. Comparación del tipo de agua por su dureza en la cuenca del río Grande en 2014 (izq.) y 2017 (der.).

Fuente: Elaborado por los autores (2017).

con aguas duras y jabón, se unen los iones de calcio y magnesio presentes en el agua con los iones estearato y oleato del jabón disuelto, formando sales insolubles; este proceso aumenta el uso de jabón y produce un sólido grueso que permanece en las superficies, telas,

piel o cabello (Rodríguez S. A., 2010). La exposición a agua dura es un factor de riesgo que podría ocasionar la aparición de lesiones cutáneas inflamatorias como eczemas, debido al contacto con los residuos de sales de jabón en la piel o en la ropa (Thomas y Sach, 2000).

Al calentar el agua dura, precipitan los carbonatos que son insolubles, causando la formación de incrustaciones duras en las redes de distribución domésticas e industriales (Neira Gutiérrez, 2006), conocidas como sarro. El sarro trae pérdidas económicas ya que obstruye y deteriora tuberías, calderas, lavadoras y demás sistemas o electrodomésticos que utilicen agua caliente (Rodríguez S. A., 2010).

Del mismo modo, en los sistemas de riego tecnificados que emplean agua dura pueden formarse depósitos o incrustaciones en los aspersores, reduciendo la eficiencia de los mismos. Otro impacto en el riego derivado del uso de agua dura es la disminución de la efectividad de los herbicidas, la cual se produce por la reacción entre los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y las sales de los herbicidas, formando sales insolubles, las cuales precipitan removiendo el herbicida de la solución (Neira Gutiérrez, 2006).

En vista de los efectos expuestos, es necesario tomar medidas para evitar el uso directo del agua del embalse, a la vez que se previene el apareamiento de costras de carbonatos y sales en la infraestructura del PPMCH, como consecuencia de un posible efecto barrera-represa (Puente, 1998).

La solución es la implementación de un sistema de ablandamiento de agua, idealmente, a la entrada del túnel de captación de agua potable y riego. Se puede considerar el uso de resinas de intercambio iónico o la adición de carbonato sódico (Na_2CO_3) y cal ($Ca(OH)_2$).

En las Figuras 3 y 4, se visualiza

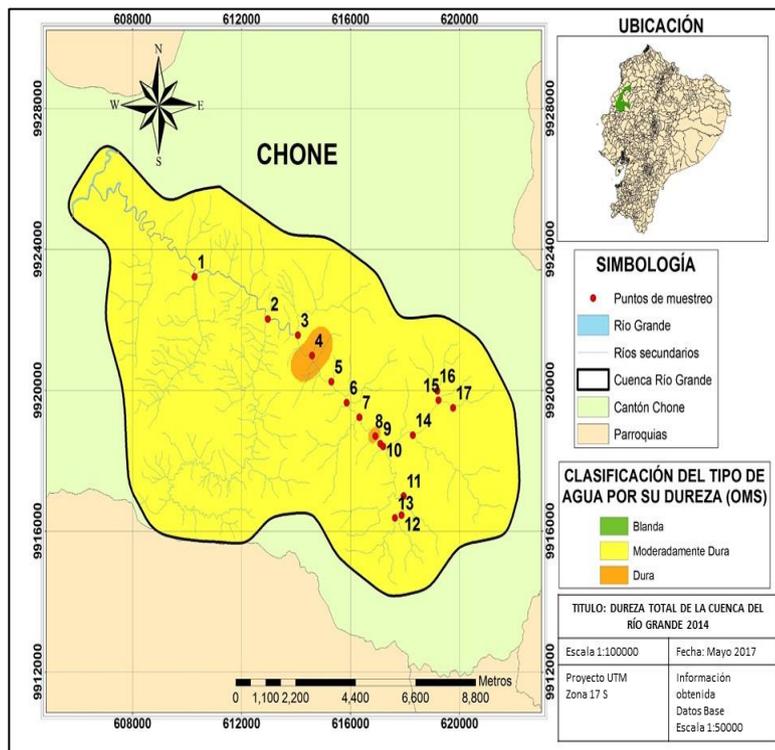


Figura 3. Distribución espacial de la dureza total en la cuenca del río Grande en el año 2014.

especialmente la clasificación de las aguas por su dureza en la cuenca del río Grande para los

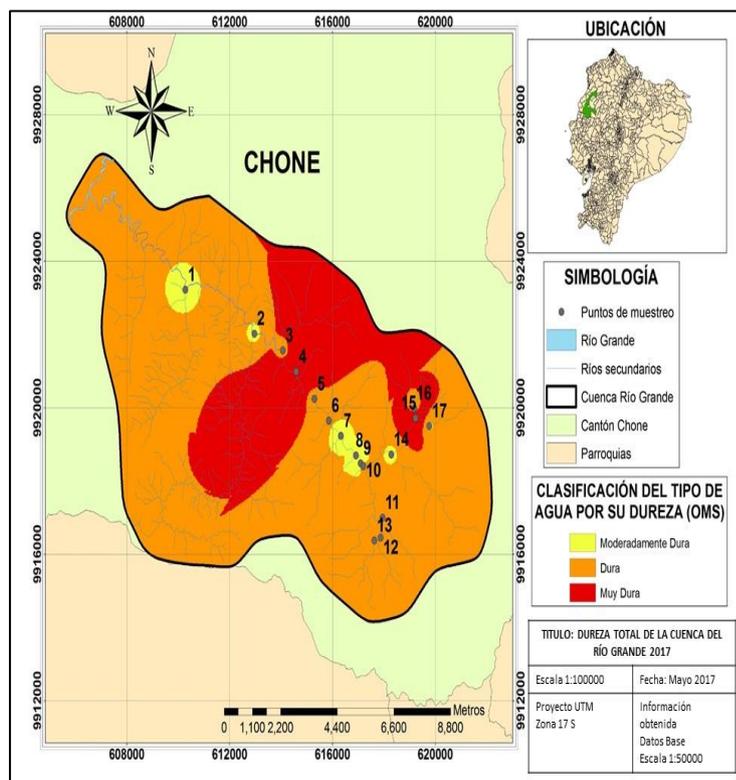


Figura 4. Distribución espacial de la dureza total en la cuenca del río Grande en el año 2017.

años 2014 y 2017, respectivamente.

Dureza Cálctica y Magnésica

Según Rodríguez (2009), el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de las sales de calcio y magnesio presentes en el agua. Salvo en raras excepciones, el calcio se encuentra en mayor cantidad que el magnesio (Badilla, Víquez, y Zamora, 2005).

también es común encontrar restos fósiles, cuyo componente principal es el calcio.

No obstante, en 2017, la dureza magnésica prevalece en los ríos Sánchez y Cañitas, con valores de 136.08 y 80.19 mg/L, de manera correspondiente.

Esto podría deberse a que, cuando la dureza del agua alcanza niveles muy altos,

como se observa en los puntos 4 y 15 de la Figura 2, la proporción entre Ca^{2+} y Mg^{2+} se va igualando hasta invertirse, debido a que, al aumentar la concentración de calcio, éste tiende a formar sales insolubles que precipitan, mientras el magnesio se mantiene en disolución hasta concentraciones mucho más elevadas. Este cambio se evidencia claramente en los mismos puntos

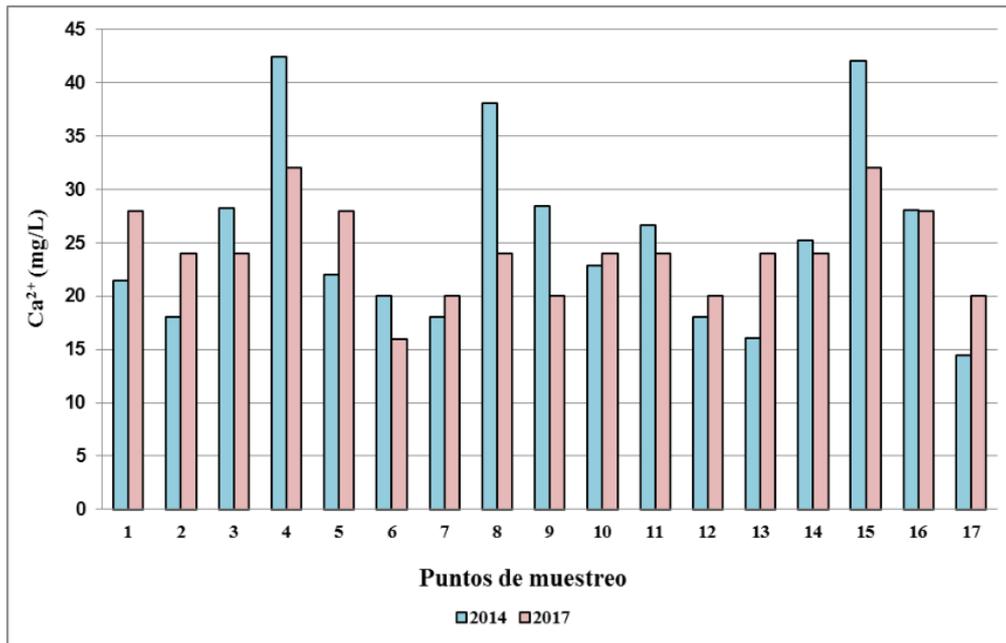


Figura 5. Variación temporal de dureza cálcica en la cuenca del río Grande. Fuente: Elaborado por los autores (2017).

En este estudio, se determinó que la dureza cálcica es predominante en la cuenca del Río Grande, como se muestra en la Tabla 2. En las Figuras 5 y 6, se observan las variaciones temporales de Ca^{2+} y Mg^{2+} , respectivamente.

en las Figuras 5 y 6.

Según Carrera, Crisanto, Guevara y Maya (2015), la superioridad del calcio se debe a la presencia de roca caliza en la zona de estudio, donde

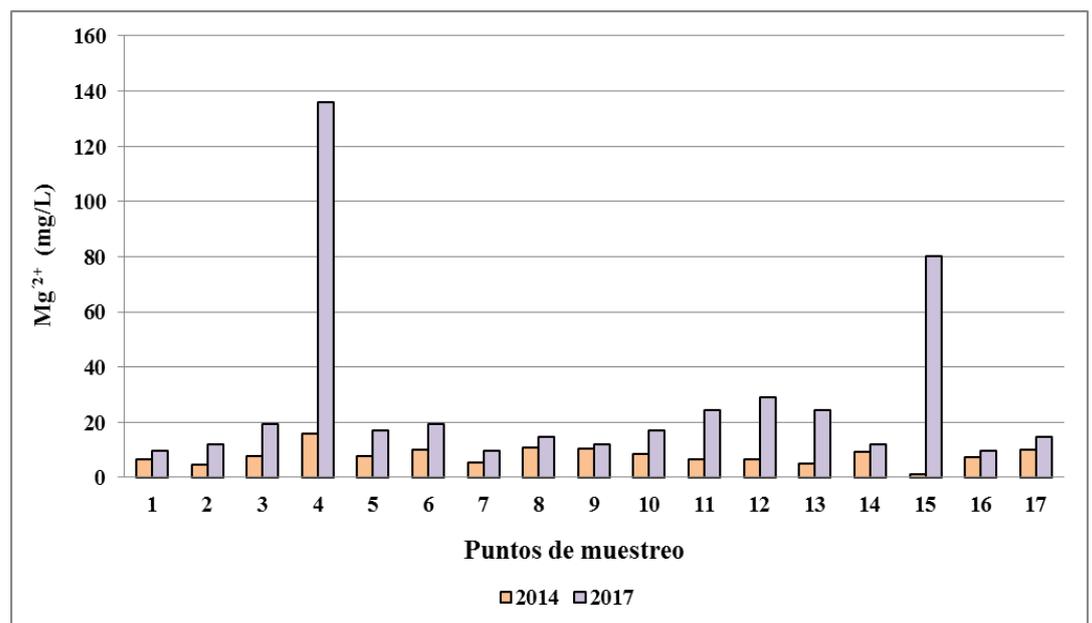


Figura 6. Variación temporal de dureza magnésica en la cuenca del río Grande. Fuente: Elaborado por los autores (2017).

La segunda hipótesis planteada justifica el incremento de la concentración de magnesio por el desgaste y disolución de las concreciones dolomíticas presentes en la zona de estudio, las cuales pueden haber sido arrastradas por el agua al haberse modificado el flujo natural del río Grande.

En los siguientes años, el agua del embalse podría verse afectada por el incremento de la concentración de magnesio en los puntos mencionados, por lo que es indispensable determinar la causa real de este fenómeno.

Relación de Adsorción de Magnesio (MAR)

Paliwal (1972) desarrolló un índice en porcentaje para calcular el riesgo de afectación al suelo por irrigación con agua de alta concentración de Mg^{2+} llamado Relación de Adsorción de Magnesio (MAR).

En la Tabla 5, se presenta la aptitud para riego de las aguas de la cuenca del río Grande, con base en el cálculo de la MAR para los 17 puntos de muestreo en el año 2017.

Tabla 5

Aptitud para riego de la cuenca del río Grande

No. Muestra	Uso del agua para riego		No. Muestra	Uso del agua para riego	
	Apto	No apto		Apto	No apto
1	36.70%		10		54.20%
2	36.70%		11		80.71%
3	45.81%		12		54.90%
4		57.50%	13		62.84%
5		87.66%	14		70.89%
6		50.36%	15		62.84%
7		66.99%	16	45.81%	
8	44.80%		17		50.36%
9		50.36%			

Fuente: Datos obtenidos aplicando la ecuación de Paliwal (2017).

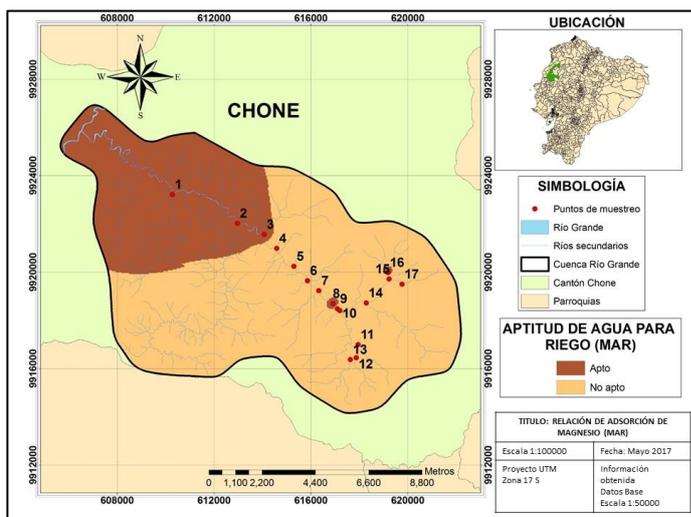


Figura 7. Distribución espacial de la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR) en la cuenca del río Grande en el año 2017.

Fuente: Elaborado por los autores (2017).

De acuerdo a los cálculos de la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR), que se visualizan espacialmente en la Figura 7, el agua del embalse es apta para riego, pero el 70.6% de los afluentes aguas arriba del río Grande no lo son.

Los suelos irrigados con agua de elevada concentración de Mg^{2+} presentan una baja productividad, ya que el Ca^{2+} es el responsable de reducir las concentraciones tóxicas de los iones Na^{+} y Mg^{2+} en el medio radicular, afectando a la nutrición de las plantas (Ayers, R.S., 1994). En este sentido, el agua de los ríos Sánchez y Cañitas, donde prevalece la dureza magnésica, no es apta para riego debido a la deficiencia de Ca^{2+} por la alta concentración de Mg^{2+} intercambiable en el suelo. Los agricultores de estas zonas deberían considerar la adición de calcio como enmienda, para equilibrar las relaciones de intercambio iónico y evitar problemas en el crecimiento de los cultivos.

Conclusiones

En 2014, el 3.7% de las aguas de la cuenca del río Grande eran blandas, el 77.2% eran moderadamente duras y el 19.1% eran duras; mientras que, tras la inauguración del PPMCH, el 33.5% son moderadamente duras, el 30.7% son duras y el 35.8% son muy duras.

En el embalse del proyecto, la dureza total medida en 2017 fue de 110 mg CaCO₃/L, es decir, el agua es moderadamente dura. Por esta razón, se recomienda implementar un sistema de ablandamiento de agua a la entrada del túnel de captación de agua potable y riego.

Para 2017, se evidenció que en la intersección del río Grande con el río Sánchez y en el Río Cañitas, a diferencia del resto de puntos aguas arriba, el magnesio presenta mayor concentración que el calcio. Estas

variaciones contradicen la predisposición a presentar mayor concentración de Ca²⁺ en las aguas de esta cuenca, durante el período de lluvia, por lo que se debe realizar un estudio más detallado en los puntos mencionados para identificar la causa real de este comportamiento.

De acuerdo a los cálculos de la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR), el agua del embalse del PPMCH es apta para riego, pero el 70.6% de los afluentes, aguas arriba del río Grande no lo son.

Para el caso de los ríos Sánchez y Cañitas, donde prevalece la dureza magnésica, los agricultores de estas zonas deberían considerar la adición de calcio como enmienda para evitar problemas en el crecimiento de los cultivos.

Referencias

- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. Washington. Retrieved from https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf
- Anchundia, A. (2012). *Análisis de violación de derechos. Población Río Grande frente al proyecto de Propósito Múltiple Chone*. Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos. Retrieved from http://www.inredh.org/archivos/pdf/analisis_riogrande_chone_alexandra_anchundia.pdf
- Ayers, R.S. (1994). *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E06.htm#ch5.4>
- Badilla, H., Víquez, C., & Zamora, E. (2005). *Evaluación de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia*.
- Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P., & Maya, M. (2015, Marzo). Relationship between the inorganic chemical composition of water, precipitation and evaporation in the basin of Rio Grande, Chone, Ecuador. *Enfoque UTE*, VI(1), 25-34. Retrieved from <http://www.ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/52/56>
- Carrera-Villacrés, D. (2007). Calidad de las aguas del sistema hidrográfico Zahuapán-Atoyac. Montecillo, TexCoco, Edo. México. Retrieved from <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1251>
- Carrera-Villacrés, D., Guevara-García, P., Maya-Carrillo, M., & Crisanto, T. (2015). Variations of Species Concentration in Inorganic Water Dam "Purpose Multiple Chone", Ecuador

Based on Precipitation, Evaporation and Evapotranspiration. *Procedia Earth and Planetary Science*, 641-646. doi:10.1016/j.proeps.2015.08.122

Centro del Agua y Desarrollo Sustentable. (2012). *Perfil Territorial con Enfoque en Gestión de Riesgos del Cantón Chone*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved from <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/839/1/Perfil%20territorial%20CHONE.pdf>

Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). Manual de Laboratorios: Ecología de Microorganismos. En Parámetros Físico-químicos: Alcalinidad (p.5). Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico. Retrieved from <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>

Martínez Yrizar, A., Búrquez, A., & Calmus, T. (2012). Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Región y Sociedad*, 24(3), 289-307. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v24nspe3/v24nspe3a10.pdf>

Millán, F., Mathison, J., Alvares, M., & Jarbough, W. (2003). Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. *Ciencia e Ingeniería*, XXIV(1), 39-46. Retrieved from <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/366>

Nag, S. K., & Das, S. (2014). Quality Assessment of Groundwater with Special Emphasis on Irrigation and Domestic Suitability in Suri I & II Blocks, Birbhum District, West Bengal, India. *American Journal of Water Resources*, II(4), 81-98.

Neira Gutiérrez, M. A. (2006). *Dureza en Aguas de Consumo Humano y uso Industrial, Impactos y medidas de Mitigación. Estudio de caso: Chile*. Santiago de Chile. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/html/index-frames.html

Paliwal, K. (1972). *Irrigation with saline water*. Nueva Delhi: Indian Agricultural Research Institute.

Puente, M. E. (1998). In *Plan de Medidas Preventivas, Mitigadoras y Compensadoras de Protección Ambiental del Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios* (p. 120). Quito: Editorial Fraga. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?id=XC4qAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q=efecto%20barrera-represa%20&f=false

Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela. *Pensamiento Actual*, IX(12), 125-134. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5897932.pdf>

Rodríguez, S. A. (2010). *La Dureza del Agua*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Retrieved from http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf

Ruiz del Portal, A. (2003). Presas. Su relación con el medio ambiente. *I.T.*(62), 38-45. Retrieved from Sociedad Española de Presas y Embalses: http://www.seprem.es/st_agua_f/presas-su_relacion_con_el_medio_ambiente.pdf

Secretaría Nacional del Agua. (2010). Resumen ejecutivo del estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental para el proyecto de propósito múltiple Chone. SENAGUA.

Sistema Nacional de Información. (2014). *Ficha de Cifras Generales: Cantón Chone*. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1303_CHONE_MANABI.pdf

Thomas, K., & Sach, T. (2000). A multicentre randomized controlled trial of ion-exchange water softeners for the treatment of eczema in children: protocol for the Softened Water Eczema Trial (SWET). *British Journal of Dermatology*, 159(3), 561–566.

World Health Organization. (2011). *Hardness in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water* (Cuarta ed.). World Health Organization. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf