

**Alternativas en la reducción de la dureza del agua subterráneas en Saltapuquio sector Michiquillay
distrito de La Encañada – Cajamarca**

**Alternatives in the reduction of groundwater hardness in Saltapuquio Michiquillay sector, district of La
Encañada - Cajamarca**

Ramiro Salazar Salazar^{1*}, Augusto Chavez Correa¹, Jorge Silvestre Lezama Bueno¹, Casimiro Paico
Cusquisivan¹

¹Facultad de Educación, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, CP. 06003, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: rsalazar@unc.edu.pe

Resumen

El Sector Michiquillay, área de influencia de un proyecto minero en fase inicial de exploración, requiere una cuidadosa consideración de la calidad y cantidad de agua, siguiendo los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECAS) establecidos por la Normativa Vigente, como la Ley General del Ambiente 28611, la Ley de los Recursos Hídricos 29335 y la Autoridad Nacional del Agua. Este estudio abordó el estado inicial del agua en Saltapuquio, Michiquillay, Cajamarca, evaluando sus características físico-químicas (dureza, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y nitrato) y biológicas (*Escherichia coli* y bacterias coliformes totales) para un tratamiento químico destinado a reducir la dureza. Los resultados, obtenidos con el método EDTA, indicaron una dureza de 665,80 mg/L, superando los límites permitidos por el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N° 031-2010-SA). Para contrarrestar esta situación, se implementó un tratamiento químico con cal y tripolifosfato de sodio, concluyendo que este último compuesto fue óptimo para la reducción de la dureza, cumpliendo con el Decreto Supremo N° 031-2010-SA, que establece un máximo permisible de 500 mg/L.

Palabras clave: agua subterránea, cal, dureza del agua, La Encañada, tratamiento químico, tripolifosfato de sodio

Abstract

The Michiquillay Sector, an area influenced by an early-stage exploration mining project, necessitates meticulous consideration of water quality and quantity, adhering to the Maximum Permissible Limits (MPL) and Environmental Quality Standards (EQS) established by the current regulations, such as the Ley General del Ambiente 28611, the Ley de los Recursos Hídricos 29335, and the Autoridad Nacional del Agua. This study addressed the initial state of water in Saltapuquio, Michiquillay, Cajamarca, evaluating its physicochemical (hardness, conductivity, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, and nitrate) and biological (*Escherichia coli* and total coliform bacteria) characteristics for a chemical treatment aimed at reducing hardness.

The results, obtained using the EDTA method, indicated a hardness of 665.80 mg/L, surpassing the limits allowed by the Regulation of Water Quality for Human Consumption (D.S. N° 031-2010-SA). To counteract this situation, a chemical treatment with lime and sodium tripolyphosphate was implemented, concluding that the latter compound was optimal for hardness reduction, in compliance with Supreme Decree N° 031-2010-SA, which sets a maximum permissible limit of 500 mg/L.

Keywords: groundwater, lime, water hardness, La Encañada, chemical treatment, sodium tripolyphosphate, sodium tripolyphosphate

Introducción

Primer párrafo: La provisión de agua potable constituye un aspecto fundamental para el bienestar de cualquier sociedad, siendo la escasez y la baja calidad del agua causas directas de graves repercusiones en la salud humana (Greissler, 2011). En este contexto, la presente investigación se enfoca en el uso del tratamiento químico en la reducción de la dureza para las aguas subterráneas provenientes de Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada - Cajamarca.

La composición del agua es un aspecto crítico en su idoneidad para el consumo humano. La presencia de componentes no aptos puede comprometer la seguridad y la salud de quienes la consumen. Elementos como metales pesados, microorganismos patógenos y compuestos químicos indeseables son problemáticos y requieren un análisis y tratamiento adecuado para garantizar la calidad del agua destinada al consumo.

Existen diversos métodos de tratamiento de agua diseñados para reducir o eliminar los componentes que afectan la composición del agua de manera negativa. Estos métodos incluyen procesos físicos, químicos y biológicos que buscan mejorar la calidad del agua y hacerla apta para el consumo humano. La elección del método de tratamiento dependerá de la naturaleza específica de los contaminantes presentes en el agua y de las condiciones locales.

La obtención de agua limpia y segura para el consumo humano es esencial para la salud pública y el bienestar general de la comunidad. Los beneficios de aplicar procesos de tratamiento del agua van más allá de la simple obtención de un recurso potable; contribuyen a la prevención de enfermedades transmitidas por el agua, mejoran la calidad de vida y respaldan el desarrollo sostenible de las comunidades.

Este estudio abordó el estado inicial del agua en Saltapuquio, Michiquillay, Cajamarca, evaluando sus características físico-químicas (dureza, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y nitrato) y biológicas (*Escherichia coli* y bacterias coliformes totales) para un tratamiento químico destinado a reducir la dureza.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el sector de Saltapuquio, Michiquillay, ubicado en el distrito de La Encañada, provincia y región de Cajamarca. Las muestras de agua subterránea fueron recogidas para evaluar su composición y determinar la presencia de componentes que podrían afectar su aptitud para el consumo humano.

Para explorar la composición del agua y sus implicancias, se emplearon diversos materiales y equipos de laboratorio. Entre los materiales químicos destacan el tripolifosfato de sodio, el hidróxido de sodio y la cal, seleccionados estratégicamente para su eficacia en el tratamiento del agua. Se utilizaron herramientas de vidrio, como fioles, pipetas, termómetros, tubos de ensayo y varillas de agitación, junto con equipos avanzados como balanzas analíticas digitales, espectrofotómetros de absorción atómica, pH metros y conductímetros.

La población de interés abarcó las aguas subterráneas en Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada - Cajamarca. Para representarla de manera significativa, se tomaron muestras siguiendo rigurosamente el Protocolo de Monitoreo de DIGESA, muestras de 1 litro.

Los métodos utilizados para analizar el agua se basaron en normativas y leyes ambientales. Siguiendo los estándares de la American Public Health Association (APHA, 1992), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF), se aplicaron métodos normalizados para el análisis del agua. Además, se recurrió a métodos específicos prescritos por la Ley de Recursos Hídricos y la Ley General del Ambiente.

Los análisis químicos se llevaron a cabo mediante la aplicación de agentes de tratamiento como el tripolifosfato de sodio, el hidróxido de sodio y la cal. Se evaluaron parámetros críticos como la dureza, la conductividad, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y la concentración de nitrato. Instrumentos de medición de última generación, como el pH metro y el conductímetro, permitieron una evaluación precisa de las propiedades físicas y químicas del agua.

Primer tratamiento: Para la prueba de jarras se programó el equipo a 80 RPM con un tiempo de mezcla de 20 minutos, además se utilizó 3 vasos precipitados (1000 mL) aplicando tres dosificaciones diferentes de cal y enrasando con 500 mL de agua subterránea; para cada una de ellas se realizó tres repeticiones.

Segundo tratamiento: Para la prueba de jarras se programó el equipo a 80 RPM con un tiempo de mezcla de 20 minutos, además se utilizó 3 vasos precipitados (1000 mL) aplicando tres dosificaciones diferentes de tripolifosfato de sodio y enrasando con 500 mL de agua subterránea; para cada una de ellas se realizó tres repeticiones.

Tercer tratamiento: Para la prueba de jarras se programó el equipo a 80 RPM con un tiempo de mezcla de 20 minutos, además se utilizó 3 vasos precipitados (1000 mL) aplicando tres dosificaciones diferentes de soda cáustica y enrasando con 500 mL de agua subterránea; para cada una de ellas se realizó tres repeticiones.

Resultados y discusión

Los resultados de la calidad inicial del agua subterránea, comparados con los valores del Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S.N° 031-2010-SA, revelaron valores de la dureza total por encima de los LMP - 500 mg/L (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de la composición físico química y biológica de muestras de agua subterránea de Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada – Cajamarca

Propiedades	Parámetro	Unidad	Norma de referencias	AS2	AS3	AS4	AS5	AS6	AS7	AS8
Físico – Químicos	Alcalinidad Bicarbonato	mg/L								163,2
	Alcalinidad Bicarbonato	mg/L								<5,00
	Conductividad	μS/cm								1722
	Dureza Cálctica	mg/L								665,8
	Dureza Magnésica	mg/L	SM 2340 C							89,70
	DBO	mg/L	SM 5210 B	<2,0						
	DQO	mg/L	SM 5220 D		<5,0					
	Nitratos	mg/L	SM 4500-NO ₃ - E					15,57		
Microbiológicos	<i>Escherichia coli</i>	NMP/1 00ml	SM 9221 B / 9221C			<1,8E+00				
	Coliformes totales	NMP/1 00ml	SM 9221 B / 9221C					<2,3E+02		

Seguido de los resultados, las muestras de agua se sometieron a tres tratamientos químicos. El primero con cal (Tabla 2) y el segundo con tripolifosfato de sodio (Tabla 3) y el tercero con hidróxido de sodio (Tabla 4).

Tabla 2. Tratamiento con cal del agua subterránea de Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada – Cajamarca

Tratamiento	Cantidad	pH	Tiempo de Sedimentación	Dureza obtenida
C1-1	0,11 g	6,97		532 ppm
C1-2	0,11 g	7,45	40 minutos	558 ppm
C1-3	0,11 g	7,81		566 ppm
C2-1	0,22 g	7,05		538 ppm
C2-2	0,22 g	7,36	40 minutos	544 ppm
C2-3	0,22 g	7,78		562 ppm
C3-1	0,33 g	11,02		526 ppm
C3-2	0,33 g	11,10	40 minutos	538 ppm
C3-3	0,33 g	11,21		552 ppm

Tabla 3. Tratamiento con tripolifosfato de sodio del agua subterránea de Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada – Cajamarca

Tratamiento	Cantidad	pH	Tiempo de Sedimentación	Dureza obtenida
T1-1	0,11 g	6,99	40 minutos	482 ppm
T1-2	0,11 g	7,00		498 ppm
T1-3	0,11 g	7,03		504 ppm
T2-1	0,22 g	6,88	40 minutos	568 ppm
T2-2	0,22 g	6,90		460 ppm
T2-3	0,22 g	6,95		418 ppm
T3-1	0,33 g	6,82	40 minutos	376 ppm
T3-2	0,33 g	6,83		380 ppm
T3-3	0,33 g	6,84		406 ppm

Tabla 4. Tratamiento con de soda cáustica del agua subterránea de Saltapuquio, sector Michiquillay, distrito de La Encañada – Cajamarca

Tratamiento	Cantidad	Nivel de pH	Tiempo de Sedimentación	Dureza obtenida
S1-1	0,11 g	10,43	40 minutos	384 mL
S1-2	0,11 g	10,47		424 mL
S1-3	0,11 g	10,65		410 mL
S2-1	0,22 g	11,54	40 minutos	412 mL
S2-2	0,22 g	11,55		374 mL
S2-3	0,22 g	11,58		248 mL

En relación al incremento de la dosis de soda cáustica y cal, se observó un aumento del pH, alcalinizando el agua. Esta condición tiene un impacto negativo en cada proceso, ya que, según el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano: anexo ii, los límites máximos permisibles de calidad organoléptica, microbiológica y parasitológica establecen que el rango permisible de pH es de 6,5 a 8.

Rigola (1990) señala que un pH de 9,2 resulta en la concentración teórica mínima de calcio, mientras que la de magnesio se alcanza a un pH de 10,5. Al compararlo con el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA, que establece un rango de pH de 6,5 a 8,5, se evidencia la necesidad de considerar este parámetro para mantener la calidad del agua subterránea. Rigola también destaca que, para la eliminación eficiente del calcio, es crucial evitar exceder un pH de 9,2, lo cual se corroboró en la parte experimental, ya que esto condujo a una mejor disminución de la dureza en los compuestos químicos.

Oliva (2005), buscando determinar la dosis adecuada de los compuestos químicos cal y soda realizó un estudio donde aplicó una mezcla lenta entre 80 y 90 rpm durante 20 minutos, seguida de una sedimentación de 15 a 90 minutos. Según los resultados obtenidos en esta investigación, la mezcla lenta a 80 rpm durante 20 minutos, con

una sedimentación de 40 minutos, logró una remoción de hasta el 58% de la dureza por $CaCO_3$.

En cuanto a la reducción de la dureza, Carillo y Sanchez (2013) indican que el filtro activado a base de carbón activado, obtenido del endocarpo de coco, retuvo entre el 85% y el 89% de la dureza para los tres filtros elaborados (25, 50, 100 g de carbón activado). En contraste, en la presente investigación, utilizando tripolifosfato de sodio, se logró una disminución de hasta el 58% de la dureza total en las aguas subterráneas.

Finalmente, Solano (2003) observó en su investigación que el pH es el único parámetro físico-químico influenciado por el empleo del material calcáreo. En la presente exploración, también se confirma el cambio en el comportamiento del pH, desde neutro hasta alcalino, en los tratamientos realizados.

Conclusión

Se determinó que el compuesto óptimo utilizado en la reducción de dureza para las aguas subterráneas es el tripolifosfato de sodio (33 g), ya que los resultados obtenidos de la parte experimental fueron comparados con la normativa vigente (Decreto Supremo N° 031-2010-SA), donde se llega a reducir de manera significativa la dureza por $CaCO_3$ además se mantienen los valores establecidos para el pH.

Referencias

APHA - American Water Works, Association Water Pollution Control Federation. 1992. Standard methods for the analysis of potable and residual water. 541p.

Carillo, V.Y., Sanchez, N.E. 2013. Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpo de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable. Tesis. Universidad de El Salvador. El Salvador. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5307/>

Geissler, G. 2011. El agua: como un recurso natural renovable. Trillas. México. Pág. 218.

Oliva, E. 2005. Remoción de carbonatos de calcio de aguas subterráneas por medio de tratamiento químico con cal y soda ash. Tesis. Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Rigola, M. 1990. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo Boixareu, D.L. España. Pág. 161.

Solano, G. 2003. Efecto del hidróxido de calcio sobre la calidad de agua y la producción de estanques de cultivo de *Litopenaeus vannamei* en aguas salobres. Tesis. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8669>