UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Tratamiento químico para la reducción de dureza del agua subterránea en el Altiplano Peruano

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autoras:

Jocabet Sucapuca Mamani

Clara Taciana Arhuire Surco

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, mayo de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Tratamiento químico para la reducción de dureza del agua subterránea en el Altiplano Peruano"** de los autores **Jocabet Sucapuca Mamani** y **Clara Taciana Arhuire Surco** tiene un índice de similitud de 6 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 16 días del mes de junio del año 2026.

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 08 día(s) del mes de mayo del año 2025 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtro. Enrique Mamani Cuela el (la) secretario(a): Ing. Veronica Hoyde Pari Mamani y los demás miembros: Mtro. Leyda Abigail Condori Tarpe Mg. Franklyn Eliard Zapana Yucra y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Tratamiento químico para la reducción de dureza del agua subterránea en el Altiplano Peruano"

del(los) bachiller(es): a) Jacobet Sucapuca Mamani

b) Elana Taciana Arhuire Surco

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Jacobet Sucapuca Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller (b): Elana Taciana Arhuire Surco

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller (c)

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

ÍNDICE

Resumen 6
Abstract 7
1. Introducción 8
2. Materiales y métodos 10
2.1. Preparación de los reactivos químicos 11
2.2. Ensayo de análisis por titulación complexométrica 11
2.3. Diseño experimental 12
2.4. Diseño estadístico experimental y análisis de datos 13
3. Resultados 13
3.1. Caracterización del agua subterránea 13
3.2. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos analizados 14
3.3. Remoción de la dureza del agua subterránea 17
4. Discusión 19
4.1. Caracterización del agua subterránea 19
4.2. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos analizados 20
4.3. Remoción de la dureza del agua subterránea 21
5. Conclusiones 25

Tratamiento químico para la reducción de dureza del agua subterránea en el Altiplano Peruano

Chemical treatment for reducing groundwater hardness in the Peruvian Altiplano

RESUMEN

El estudio evaluó la eficacia de cuatro agentes alcalinizantes (cal viva, cal sodada, tripolifosfato de sodio y soda cáustica) en la reducción de la dureza total del agua subterránea en la zona sur de Juliaca, región Puno (Perú), donde las fuentes presentan valores iniciales elevados de dureza (736.67 mg/L como $CaCO_3$) y pH alcalino (9.8), que exceden los límites máximos permisibles establecidos en la norma peruana D.S. N.º 031-2010-SA y las guías de la OMS. Se aplicaron dosis de 0.00, 0.10, 0.15, 0.20 y 0.25 g/L mediante la prueba de jarras, bajo condiciones controladas de mezcla y sedimentación. Se evaluaron el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez, los sólidos totales disueltos y la dureza total, conforme a los métodos normalizados de APHA et al. (2012). Los resultados indican que todos los reactivos redujeron la dureza y los sólidos disueltos, aunque con eficiencias variables. La soda cáustica presentó la mayor reducción de dureza (50.3 %) y de sólidos disueltos (57.3 %), seguida por la cal viva (40.1 %), mientras que la cal sodada (31.7 %) y el tripolifosfato de sodio (14 %) mostraron menores rendimientos. Los efectos observados se atribuyen a la precipitación de carbonatos e hidróxidos de calcio y magnesio, generada por la alcalinidad de los reactivos. La soda cáustica se consolida como el agente más eficaz para la desmineralización rápida del agua subterránea, mientras que la cal viva constituye una alternativa más estable y controlada, útil para ajustes graduales del pH y la salinidad.

Palabras clave: agua subterránea, dureza del agua, cal viva, cal sodada, tripolifosfato de sodio, soda cáustica, tratamiento químico.