

Daniel-Witt.docx



My Files



My Files



Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:435895828

Fecha de entrega

3 mar 2025, 2:09 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 mar 2025, 2:13 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Daniel-Witt.docx

Tamaño de archivo

535.2 KB

17 Páginas

6,572 Palabras

35,621 Caracteres

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	hdl.handle.net	4%
2	Trabajos entregados	uncedu on 2024-02-29	<1%
3	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica de los Andes on 2024-12-08	<1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Trabajos entregados	Universidad Tecnologica de los Andes on 2025-02-06	<1%
8	Internet	repository.uaeh.edu.mx	<1%
9	Internet	pt.scribd.com	<1%
10	Trabajos entregados	Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia on 2018-11-08	<1%
11	Internet	cathi.uacj.mx	<1%

12	Trabajos entregados	University of Lancaster on 2024-04-28	<1%
13	Internet	repositorio.udec.cl	<1%
14	Internet	silو.tips	<1%
15	Internet	vsip.info	<1%
16	Internet	tr-ex.me	<1%
17	Trabajos entregados	ucss on 2024-05-31	<1%
18	Internet	biotecnia.unison.mx	<1%
19	Internet	es.unionpedia.org	<1%
20	Internet	www.colpos.mx	<1%
21	Internet	www.researchgate.net	<1%
22	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2024-10-31	<1%
23	Trabajos entregados	Universidad Cooperativa de Colombia on 2023-11-29	<1%
24	Internet	qdoc.tips	<1%
25	Trabajos entregados	Universidad Autonoma de San Luis Potosi on 2006-12-28	<1%

26	Trabajos entregados	colpos on 2024-12-10	<1%
27	Internet	core.ac.uk	<1%
28	Internet	sites.google.com	<1%
29	Internet	dspace.umh.es	<1%
30	Internet	gumiska.hu	<1%
31	Internet	hemeroteca.unad.edu.co	<1%
32	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
33	Internet	www.avizora.com	<1%
34	Publicación	"Memorias de la V Edición del Seminario Diáspora Hídrica, Jóvenes Mexicanos Exp...	<1%
35	Trabajos entregados	Instituto de Educación Superior Tecnológico Privado de la Construcción CAPECO S...	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2024-03-04	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas on 2022-03-27	<1%
38	Internet	dokumen.pub	<1%
39	Internet	patents.google.com	<1%

40	Internet	repositorio.ulvr.edu.ec	<1%
41	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
42	Internet	riunet.upv.es	<1%
43	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
44	Internet	www.clubensayos.com	<1%
45	Internet	www.recetasparapreparar.com	<1%
46	Publicación	CESEL S A. "Primera MEIA de la Unidad Minera Casapalca-IGA0000614", R.D. N° 18...	<1%
47	Internet	revistas.unsm.edu.pe	<1%

Uso de cáscara de huevo como fuente de óxido de calcio para ablandamiento del agua subterránea, Campanilla 2023

¹Cervantes Velásquez, Witt; ¹Domínguez Parihuamán, Daniel

§EP. Ingeniera Ambiental, facultad de ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

El agua dura, con altos niveles calcio y magnesio, es un problema común en Perú, causando incrustaciones en tuberías y afectando el consumo doméstico e industrial. Este estudio evaluó un tratamiento alternativo de ablandamiento de agua subterránea en el distrito de Campanilla, utilizando óxido de calcio obtenido de cáscaras de huevo y almidón de yuca como coagulante natural. El objetivo fue reducir la dureza del agua y mitigar las incrustaciones en sistemas de abastecimiento. Se recolectaron muestras de agua con una dureza inicial de 552 mg/L y 23.2 NTU de turbidez. El óxido de calcio se obtuvo calcinando cáscaras de huevo a 600 °C y el almidón se extrajo de manera artesanal de la yuca. Los tratamientos se probaron con diferentes concentraciones de CaO (50-200 mg/L) y almidón de yuca (20 mg/L), evaluando pH, turbidez, dureza total, alcalinidad y conductividad. La combinación más efectiva fue 200 mg/L de CaO y 20 mg/L de almidón, logrando una reducción del 56.45% en la dureza del agua, dejándola en 227.33 mg/L. La turbidez se redujo a 0.53 NTU, el pH varió entre 8.44 y 8.59, y la alcalinidad disminuyó a 37.67 mg/L. El estudio concluyó que el óxido de calcio obtenido tiene una pureza del 15% y el almidón de yuca del 12%, siendo esta combinación una solución eficaz para reducir la dureza del agua. La combinación de CaO y almidón de yuca es más eficiente que CaO solo, ya que reduce mejor la turbidez, dureza y alcalinidad, manteniendo además una baja conductividad, optimizando la calidad del agua y cumpliendo con el D.S. N° 031-2010-SA .

Palabras clave: Aguas duras, Oxido de calcio, ablandamiento, incrustaciones, dureza total.

Abstract

Hard water, with high levels of calcium and magnesium, is a common problem in Peru, causing scaling in pipes and affecting domestic and industrial consumption. This study evaluated an alternative groundwater softening treatment in the Campanilla district, using calcium oxide obtained from eggshells and cassava starch as a natural coagulant. The objective was to reduce water hardness and mitigate scaling in water supply systems. Water samples were collected with an initial hardness of 552 mg/L and 23.2 NTU turbidity. Calcium oxide was obtained by calcining eggshells at 600 °C and starch was extracted in an artisanal manner from cassava. Treatments were tested with different concentrations of CaO (50-200 mg/L) and cassava starch (20 mg/L), evaluating pH, turbidity, total hardness, alkalinity and conductivity. The most effective combination was 200 mg/L of CaO and 20 mg/L of starch, achieving a 56.45% reduction in water hardness, leaving it at 227.33 mg/L. Turbidity was reduced to 0.53 NTU, pH ranged from 8.44 to 8.59, and alkalinity decreased to 37.67 mg/L. The study concluded that the calcium oxide obtained has a purity of 15% and the cassava starch 12%, being this combination an effective solution to reduce water hardness. The combination of CaO and cassava starch is more efficient than CaO alone, since it reduces turbidity, hardness and alkalinity better, while maintaining a low conductivity, optimizing water quality and complying with D.S. N° 031-2010-SA.

Key words: Hard water, calcium oxide, softening, scaling, total hardness.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más esenciales para la conservación de los ecosistemas, y su adecuada regulación es clave para la gestión ambiental. Aproximadamente el 30% del agua en la Tierra es subterránea, y el 70% restante es agua superficial, la mayoría en los casquetes polares y glaciares. Solo un 2.5% del total de agua es apta para el consumo humano (OMS, 2022).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022) 2100 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable segura. Además, millones de personas carecen de servicios básicos de agua, mientras que otros dependen de fuentes superficiales como ríos y lagos, lo que subraya la crisis global del acceso al agua.

Un problema común en la gestión del agua es la formación de incrustaciones de carbonato de calcio (CaCO_3), que ocurre cuando el agua contiene altos niveles de iones de calcio. Estas incrustaciones dañan instalaciones domésticas e industriales, obstruyendo tuberías y reduciendo la eficiencia de equipos como calderas e intercambiadores de calor (Serpa et. al, 2022). El agua dura, que contiene sales de calcio y magnesio, es la principal causa de estas incrustaciones y es un reto para muchas industrias. Además, en los hogares, el agua dura afecta la cocción, el lavado y tiene un sabor desagradable (Vigo, 2020).

El consumo de agua dura también tiene implicaciones para la salud humana, ya que puede aumentar el riesgo de desarrollar cálculos renales y otros problemas de salud, como la artritis (Susaeta et. al, 2018). En Perú, el uso de aguas duras, sin tener en cuenta su composición química, ha generado problemas en los sistemas de tuberías debido a la acumulación de carbonatos (Gaspar & Méndez, 2021).

La dureza del agua ha motivado el desarrollo de diversas técnicas de tratamiento. El ablandamiento del agua es un proceso que busca reducir su dureza, utilizando compuestos como la cal, que precipita el calcio en forma de carbonato de calcio insoluble (Scholz, 2024). Esto no solo disminuye la dureza, sino que también afecta la corrosión, la salud y el sabor del agua (Tang et. al, 2019).

Un estudio Portilla (2018) exploró un enfoque sostenible para el tratamiento del agua dura, utilizando óxido de calcio derivado de cáscaras de huevo y carbón activado de aserrín. Estos materiales demostraron ser efectivos para ablandar agua de pozo en más de un 80%. Esta técnica no solo ofrece una solución para el agua dura, sino que también ayuda a reducir residuos, promoviendo la sostenibilidad en el tratamiento del agua.

Para la presente investigación se tiene una población que cuenta con un sistema de abastecimiento de agua subterránea para consumo humano sin ningún tratamiento previo. Los pobladores mencionan que siempre ha tenido problemas de incrustaciones en las líneas de aducción y distribución, por ende, 2 veces al año hacen cambios de tuberías y limpieza de la red de distribución de agua, que demanda altos costos para mejorar su sistema de abastecimiento.

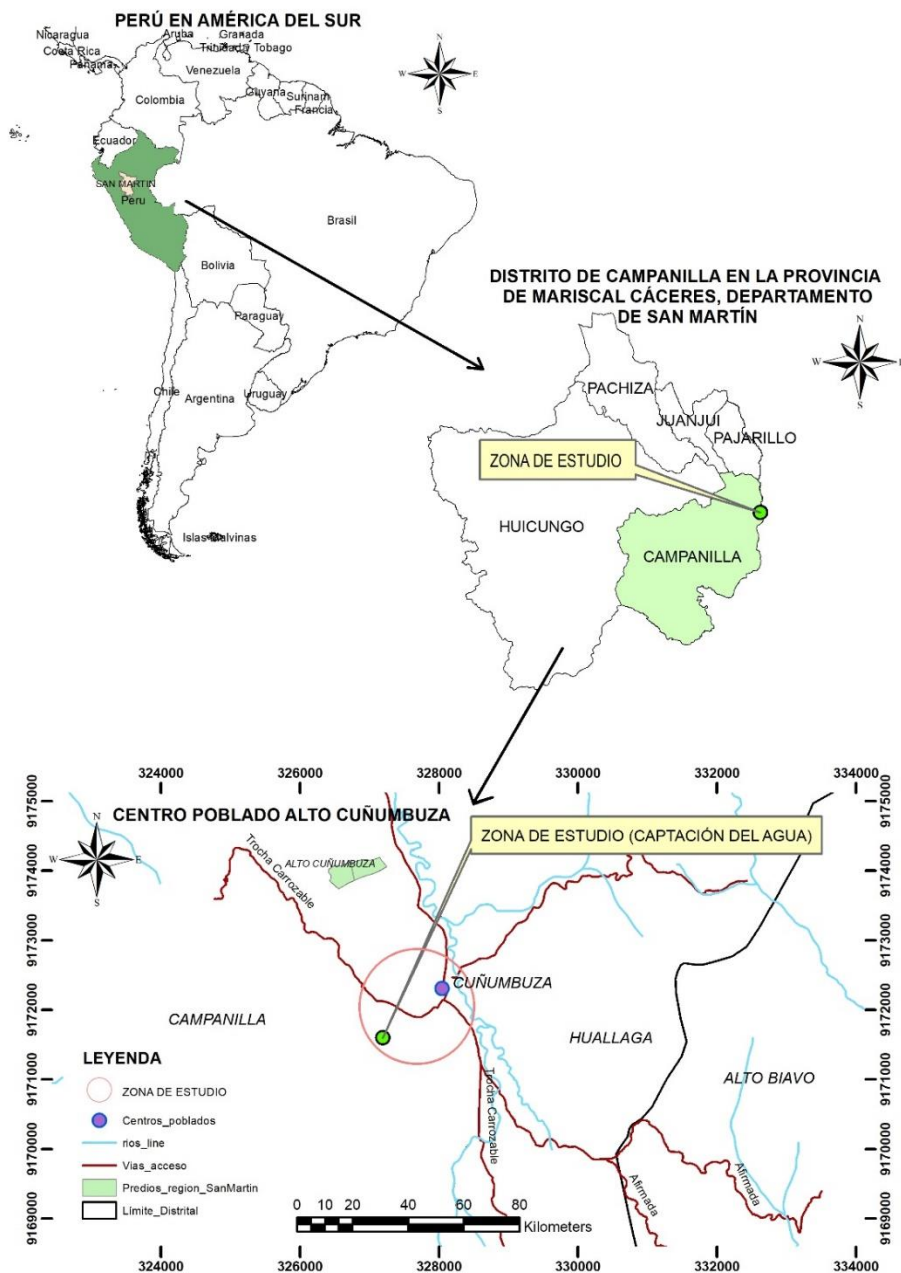
El propósito de esta investigación es evaluar la efectividad del ablandamiento de aguas duras mediante coagulación y floculación, utilizando óxido de calcio derivado de cáscaras de huevo y almidón de yuca como coagulante, con el fin de mitigar problemas de incrustaciones en un sistema de abastecimiento de agua subterránea para consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del lugar de estudio

El valle de Alto Cuñumbuzo se destaca por la fertilidad de sus suelos, propicios para la práctica de la agricultura y la ganadería. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la escasez de agua potable de calidad para sus habitantes. Este núcleo habitado abarca el distrito de Campanilla, ubicado en la provincia de Mariscal Cáceres, en el departamento de San Martín, Perú (Figura 1). La investigación se realizó en la principal fuente de suministro de agua destinada a la población, que no recibe tratamiento.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Recolección de muestras en campo

El agua subterránea de la que se abastece el centro poblado de Cuñumbuza es un manantial de ladera, el cual es aducida a un reservorio. El agua captada no tiene ningún tipo de tratamiento, sin embargo, los pobladores la utilizan para consumo humano. La toma de muestras se realizó en la captación de agua cruda, donde se tomó, una muestra de 1 L y se llevó al laboratorio hacer analizada los siguientes parámetros, dureza total, turbidez y alcalinidad total, siguiendo las pautas de seguridad establecidas en el R.J. N° 010-2016-ANA “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (ANA, 2016). Para medir los parámetros de pH y conductividad IN SITU, se utilizó un equipo multiparámetro HQ Series de la marca HACH. Posteriormente, se recogieron 100 litros de agua cruda para los tratamientos en la prueba de jarras, y se registraron los datos necesarios en la cadena de custodia. Los resultados obtenidos IN SITU y en el laboratorio de los parámetros mencionados se muestran en la tabla N° 3 donde se detalla si cumplen con el D.S. N° 031-2010-SA “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.

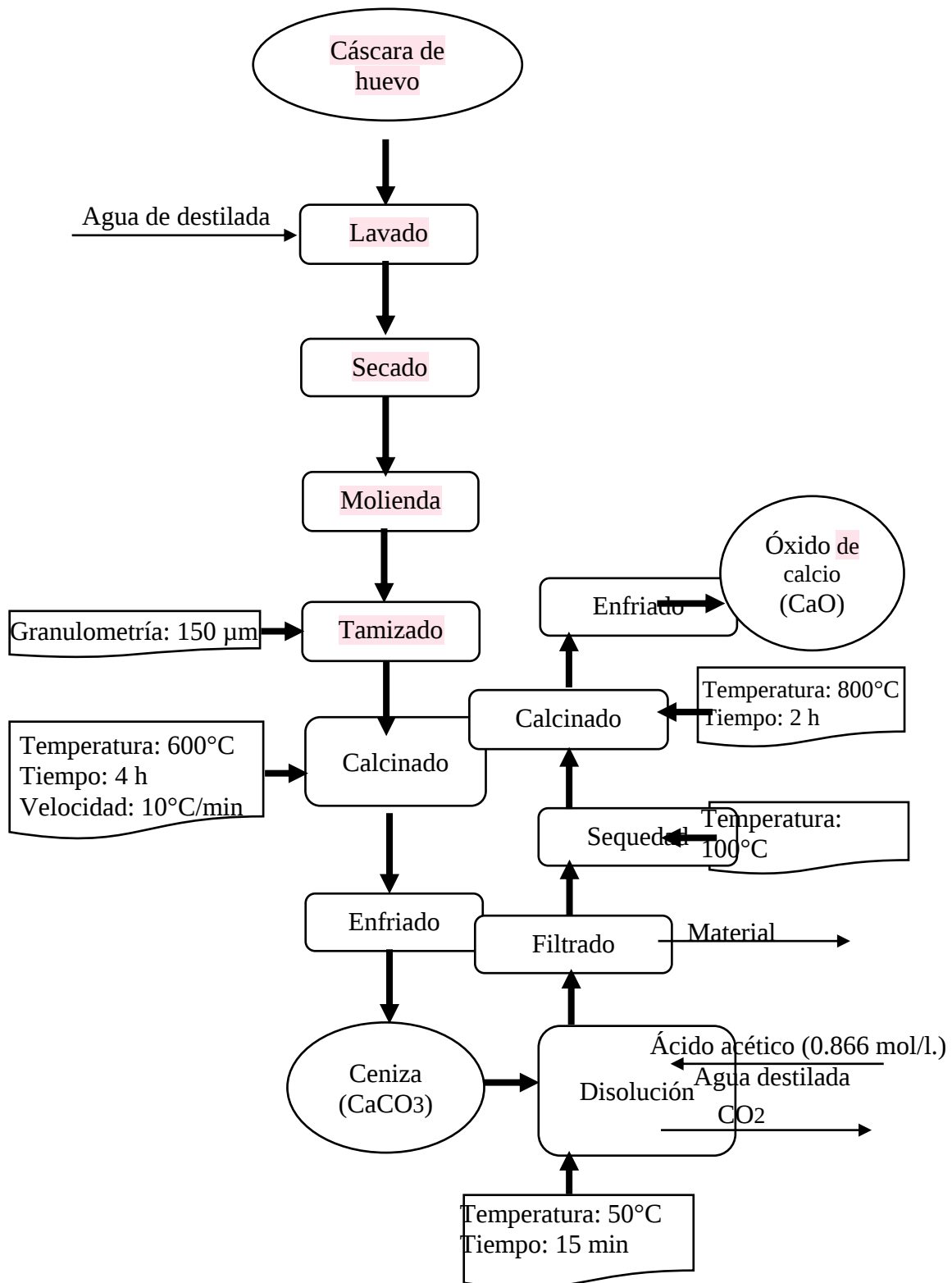
Obtención de Óxido de Calcio

Para la obtención de la ceniza de cascará de huevo se siguió un diseño mediante el proceso que se muestra en la figura 2. Se usó 200 g de cáscara de huevo de acuerdo con las especificaciones que muestra la tabla N° 1; una vez triturado y tamizado se procedió a colocar en un crisol. Consecutivamente, se calcinó a 600 °C durante 4 h, en una mufla a 10 °C/min de calentamiento y con un enfriamiento natural (Sevillano, 2018).

Tabla 1. Granulometría para la obtención de Óxido de Calcio de la cáscara de huevo

Granulometría	Malla	Micras (µm)
G1	100	150

Figura 2. Proceso de obtención de Óxido de Calcio de la cáscara de huevo



Fuente: Adaptado de (Vázquez,2021) & (Sevillano,2018)

- Lavado.** Para lavar las cascaras de huevo se usó agua sin adictivos.
- Secado.** Para este proceso se buscó un ambiente ventilado que no esté expuesto al sol, las cascaras estuvieron sobre una superficie lisa y limpia para que su secado sea el más adecuado.

- 4
1
- c) **Molienda.** Se utilizó un mortero para moler cada una de las cascarras de huevo.
- d) **Tamizado.** Este proceso se llevó a cabo después que se terminó la molienda para lograr una uniformidad de las partículas provenientes de las cascarras de huevo, para ello se utilizó un tamaño de tamiz de 150 micras (Ver Tabla N°1).
- e) **Calcinado.** Para esta fase se necesitó una mufla con 200 g de cascarras de huevo tamizado colocadas en un crisol, seguidamente se introdujo a una temperatura de 200°C por una hora y posteriormente por 600°C por 3 horas más.
- f) **Enfriado.** En esta operación se extrajo el crisol de la mufla y se dejó por un tiempo de 2 horas en un ambiente fresco.
- g) **Almacenado.** Se utilizaron crisoles de laboratorio en ambiente fresco ventilado. Hasta este punto del proceso, se obtuvo ceniza calcinada con presencia de carbonato de calcio.
- 8
6
- h) **Disolución.** Se realizó por cada 10 gramos de ceniza calcinada, se agregó agua destilada con ácido acético a una concentración de 0,866 mol/L, hasta completar una solución de 1 litro. Posteriormente, se agitó y se dejó reposar por 15 minutos en una estufa a 50°C tiempo capaz para eliminar el producto gaseoso (CO₂) en su totalidad (Vázquez Martínez et. al, 2021).
- i) **Filtrado.** Por el filtrado pasa el carbonato de calcio disuelto y lo que quedo en el papel filtro Whatman 42 fueron las impurezas.
- 8
6
- j) **Sequedad.** Del filtrado, se obtuvo dos productos: la ceniza insoluble y la solución traslúcida. El segundo producto se colocó en un vaso precipitado para luego ser puesta en la estufa a una temperatura de 100°C para lograr obtener el óxido de calcio.
- k) **Calcinado.** Del procedimiento anterior, se consiguió un polvo blanco, el cual, se agregó en un crisol, posteriormente se llevó a una mufla a una temperatura de 800°C por 1 horas.
- l) **Enfriado.** Se dejó por 2 horas en un ambiente fresco, en este proceso se aprecia la presencia de óxido de calcio donde se llevó a pesar posteriormente.

Obtención de Coagulante a base del Almidón de Yuca

El procedimiento para extraer el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) se adaptó de una metodología artesanal, conforme a la propuesta de investigación de (Elizabeth et. al, 2019). Los pasos incluyeron el lavado de la pituca para eliminar impurezas, la extracción de la cascarrilla, el corte de los tubérculos para liberar los gránulos de almidón, y su licuado a una proporción específica.

Después de licuar, se realizó un colado con tela popelina para separar pulpa y material fibroso, este proceso se repitió tres veces para obtener un almidón más limpio y puro. La mezcla de almidón obtenida fue dejada en reposo en vasos precipitados durante un período de 24 horas, tras lo cual se retiró el líquido, dejando que la sustancia acuosa de almidón se sedimentara en el fondo del recipiente. Se utilizó la centrífuga del laboratorio de control de procesos de Emapa San Martin para llevar a cabo un segundo proceso de sedimentación con el material acuoso de la espuma en la lechada de almidón, que tenía un espesor de 1.5 cm. La muestra, con un peso de 52 g, se colocó en la centrífuga a 4 000 rpm durante 20 minutos en 8 tubos de ensayo. Se extrajo la muestra sedimentada, luego se eliminó la capa superficial.

1
1

El siguiente paso implicó el secado por 24 horas para reducir la humedad. Después, las muestras fueron extraídas de la estufa y transferidas a un mortero, donde se trituraron hasta obtener diminutos gránulos de yuca. Posteriormente, mediante el uso de un tamizador con una malla N° 100 de 150 µm, se llevó a cabo la separación entre los gránulos finos y los gránulos de mayor tamaño (Tirado Paz et. al, 2022).

Prueba de ablandamiento-coagulación-floculación

Se llevaron a cabo investigaciones a escala de laboratorio mediante una serie de pruebas en jarras para simular el tratamiento convencional de agua a gran escala, que abarca las etapas de mezcla rápida, floculación y sedimentación, así como el proceso de ablandamiento utilizando óxido de calcio y almidón de yuca como coagulante. Se analizó el efecto de dosis, tomando como guía a las propuestas del estudio realizado por (O'Donnell et. al, 2016). Además, se evaluó del factor de

38
1

pH, dureza total, turbiedad, conductividad, alcalinidad y dosis de cal en las pruebas de ablandamiento. Todos los experimentos se llevaron a cabo en un equipo de jarra de seis paletas estándar, modelo 7790-900B, Phipps & Bird, que incorpora paletas de acero inoxidable y jarras de vidrio B-KER de 2 litros.

Después de recolectar las muestras de agua cruda en el punto de estudio, se llevó a cabo un tratamiento de ablandamiento utilizando solamente óxido de calcio a una concentración del 2%. Se determinaron dosis de óxido de calcio de 50 mg/L, 80 mg/L, 110 mg/L, 140 mg/L, 170 mg/L y 200 mg/L (O'Donnell et. al, 2016a). La mezcla rápida se realizó a 300 RPM durante 5 segundos, seguida de un proceso de floculación de 20 minutos a 40 RPM, y finalmente, un proceso de decantación de 15 minutos (Li et al., 2023), el cual se replicó. En el experimento n° dos, se incorporó un floculante a base de almidón de yuca, manteniendo las mismas concentraciones y dosis de óxido de calcio del tratamiento anterior. Para el floculante, se aplicó una dosis de 20 mg/L a una concentración del 1%, basado en un estudio previo (Elizabeth et. al, 2019). Se utilizaron los mismos parámetros de mezcla rápida, floculación y decantación que, en el tratamiento anterior, también realizado por triplicado. Después de cada tratamiento al terminó de la decantación se tomaron muestras de cada jarra para el análisis correspondiente según el diseño experimental (Ver tabla N°4). Al finalizar cada tratamiento, se tomaron muestras de cada jarra para el análisis correspondiente, según el diseño experimental.

Métodos analíticos

La medición de los parámetros fisicoquímicos se realizó después de cada prueba de jarras. Para el análisis de turbidez se utilizó un turbidímetro (Hach TL2300 EPA con un rango de medición de 0-4000 NTU). El pH y la conductividad se midió con un medidor portátil Multiparámetro de la serie HQ de Hach con calibración vigente. La alcalinidad total se determinó mediante el análisis utilizando el método de titulación con ácido sulfúrico (0.02N) y un indicador de anaranjado de metilo. La dureza total se analizó con un equipo Fotómetro Multiparámetro HI83399 de la marca Hanna. El análisis de observación de la formación de los flóculos durante el ensayo de las pruebas de jarras se realizó con el índice de willcomb (Chiavola et. al, 2023).

Diseño experimental

Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2x6x3), se implementaron 6 tratamientos por triplicado para el ablandamiento de agua dura, utilizando óxido de calcio a partir de la cáscara de huevo y como coagulante un polímero natural de almidón de yuca (tabla N°2).

Tabla 2. Diseño experimental

INSUMOS	DOSIS					
	50 mg/L	80 mg/L	110 mg/L	140 mg/L	170 mg/L	200 mg/L
Óxido de calcio	D1-CaO-R1	D2-CaO-R1	D3-CaO-R2	D4-CaO-R1	D5-CaO-R1	D6-CaO-R1
	D1-CaO-R2	D2-CaO-R2	D3-CaO-R3	D4-CaO-R2	D5-CaO-R2	D6-CaO-R2
Óxido de calcio + Almidón de yuca (20 mg/L)	D1-CaO-R3	D2-CaO-R3	D3-CaO-R4	D4-CaO-R3	D5-CaO-R3	D6-CaO-R3
	D1-CaO+A-R1	D2-CaO+A-R1	D3-CaO+A-R1	D4-CaO+A-R1	D5-CaO+A-R1	D6-CaO+A-R1
	D1-CaO+A-R2	D2-CaO+A-R2	D3-CaO+A-R2	D4-CaO+A-R2	D5-CaO+A-R2	D6-CaO+A-R2
	D1-CaO+A-R3	D2-CaO+A-R3	D3-CaO+A-R3	D4-CaO+A-R3	D5-CaO+A-R3	D6-CaO+A-R3
TOTAL	36 UNIDADES EXPERIMENTALES					

D: dosis, CaO: óxido de calcio, R: Repeticiones, A: almidón

Análisis estadístico

Para garantizar la precisión, confiabilidad de los datos recopilados, todos los experimentos se realizaron por triplicado y se presentan los valores medios de los conjuntos de datos. Se analizó con el método ANOVA para analizar la varianza por grupos.

RESULTADOS

Análisis de los parámetros de agua cruda

En la Tabla 3, se muestran los parámetros fisicoquímicos del agua cruda, los cuales pH, Conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$) fueron medidos IN SITU. Se observa que el pH registra un valor de 8.99, la turbidez alcanza un valor de 23.2 NTU y dureza total presenta un nivel elevado de 522 mg/L, estos tres parámetros no garantizan el cumplimiento de las disposiciones y requisitos sanitarios del presente D.S. N° 031-2010-SA ya que sobre pasan los Límites máximos permisibles que indica el reglamento, excepto la alcalinidad que se sitúa en 110 mg/L, la conductividad que muestra un resultado de 185.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la temperatura registrada de 25.81 $^{\circ}\text{C}$.

Tabla 3. Resultados de los parámetros de campo de agua cruda

Parámetros	Resultados de campo
pH	8.99
Turbiedad (NTU)	23.2
Dureza Total (mg/L)	552
Alcalinidad (mg/L)	110
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	185.9
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	25.81

Análisis descriptivos de los parámetros del agua tratada con óxido de calcio (CaO) y coagulante de almidón de yuca.

En la Tabla 4, se presenta un análisis descriptivo que abarca todos los parámetros. El conjunto comprende un total de 12 tratamientos, donde los primeros seis emplearon óxido de calcio (mg/L) y los seis siguientes incorporaron tanto óxido de calcio (mg/L) como un ayudante de floculación, que consistió en almidón de yuca (mg/L).

Tabla 4. Análisis descriptivo de pH, Turbiedad, Dureza Total, Alcalinidad y Conductividad

	Dosis		Promedio ($\bar{x}$)				
	CaO	Almidón de Yuca	pH	Turbiedad (NTU)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Conductividad (μ S/cm)
	mg/L						
Óxido de calcio (CaO)	50	-	8.53	6.88	504.67	84.00	156.33
	80		8.53	5.17	496.67	86.00	156.67
	110		8.57	4.38	486.33	81.33	157.67
	140		8.56	3.30	480.33	71.67	160.67
	170		8.52	3.23	472.67	55.33	158.67
	200		8.54	3.16	471.33	59.00	159.33
Óxido de calcio (CaO) + Almidón de Yuca	50	20	8.44	7.04	257.67	77.00	153.00
	80		8.45	4.13	250.00	61.67	158.00
	110		8.46	0.53	238.00	37.67	142.67
	140		8.54	0.77	234.67	38.67	146.00
	170		8.59	0.96	228.00	42.33	149.33
	200		8.56	1.08	227.33	44.67	135.67

En la Tabla 4, se registran diversos promedios los de parámetros tratados. El pH más bajo se obtuvo con una dosis de 50 mg/L del tratamiento CaO + Almidón de Yuca, con un valor de 8.44 mg/L, y el pH más elevado fue de 8.59 mg/L con una dosis 170 mg/L del mismo tratamiento. En cuanto a la turbidez, se identificó la menor medida de 0.53 NTU con una dosis de tratamiento de 110 mg/L durante el tratamiento CaO + Almidón de Yuca, mientras que la mayor turbidez fue de 7.04 NTU, se asoció con una dosis de 50 mg/L del mismo tratamiento.

En relación con la Dureza total, se encontró que la dosis de 200 mg/L de óxido de calcio más 20 mg/L de almidón de yuca generó la menor concentración, registrando 227.33 mg/L, mientras que la dosis de tratamiento de óxido de calcio de 50 mg/L produjo la mayor concentración, alcanzando 504.67 mg/L.

En cuanto al parámetro de alcalinidad, se determinó que el tratamiento con óxido de calcio más almidón de yuca en una dosis de 110 mg/L se obtuvo el valor más bajo de 37.67 mg/L, mientras que el tratamiento con oxido calcio en una dosis de 50 mg/L se obtuvo el valor más alto de 86.00 mg/L.

La conductividad, por su parte, exhibió un valor más bajo de 135.67 $\mu\text{S/cm}$ con una dosis de 200 mg/L con el tratamiento de óxido de calcio más almidón de yuca, y el valor más alto de 160.67 $\mu\text{S/cm}$ se observó con una dosis de 140 mg/L con el tratamiento de óxido de calcio.

Prueba Tukey para remover la Dureza Total con Óxido de calcio (CaO)

En la Tabla 5, se presentan las medias de los grupos en los subconjuntos homogéneos. El primer grupo, que comprende los tratamientos 4, 5 y 6, muestra niveles estadísticamente equivalentes de 471.33 mg/L a 480.33 mg/L en cuanto a la presencia de Dureza Total. Estos tratamientos evidencian una concentración significativamente mayor en la remoción de Dureza Total al utilizar Óxido de calcio (CaO).

Además, los tratamientos 2 y 3 constituyen un segundo grupo que indica una eficiencia media en la remoción al emplear Óxido de calcio (CaO). Por último, el tratamiento 1 muestra el nivel más bajo de eficiencia, con una concentración de 504.67 mg/L de Dureza Total. En consecuencia, se observó una disminución en la concentración de dureza total con los tratamientos 4, 5 y 6.

Tabla 5. Prueba Tukey para remover la Dureza Total con Óxido de calcio (CaO)

Tratamiento	alfa=0.05		
	1	2	3
6	471.33		
5	472.67		
4	480.33		
3	486.33	486.33	
2		496.67	496.67
1			504.67
Sig.	.05	.26	0.51

Prueba Tukey para remover Dureza Total con Óxido de calcio (CaO) más Almidón de Yuca

En la Tabla 6, se presentan las medias de los grupos dentro de los subconjuntos homogéneos. El primer grupo, que incluye los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6, exhibe niveles estadísticamente equivalentes de 227.33 mg/L a 250 mg/L de presencia de Dureza Total. Estos tratamientos demuestran una concentración significativamente mayor en la remoción de Dureza Total al utilizar Óxido de Calcio (CaO) con Almidón de Yuca. Por otro lado, los tratamientos 1 y 2 conforman un segundo grupo que señala una eficiencia menor en la remoción al emplear Óxido de calcio (CaO) con Almidón de Yuca.

Tabla 6. Prueba Tukey para remover Dureza Total con Óxido de Calcio (CaO) más Almidón de Yuca

Tratamiento	alfa=0.05	
	1	2
6	227.33	
5	228.00	
4	234.67	234.67
3	238.00	238.00
2	250.00	250.00
1		257.67
Sig.	0.15	.14

Porcentaje de remoción de Dureza Total con el tratamiento de Óxido de Calcio

En la Tabla 7, se señala que el óxido de calcio (CaO) con una dosis de 200 mg/L exhibe un porcentaje superior de remoción de Dureza Total, alcanzando el 9.71%. Este resultado indica que la concentración inicial de Dureza Total, que era de 522 mg/L, ha disminuido a 471.33 mg/L tras la aplicación de este tratamiento.

Tabla 7. Porcentaje de remoción de Dureza Total con Óxido de Calcio (CaO)

Tratamiento	Dosis (mg/L)	Dureza Total		
		Agua Cruda (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción
Óxido de calcio (CaO)	50	552	504.67	3.32
	80		496.67	4.59
	110		486.33	6.83
	140		480.33	7.98
	170		472.67	9.45
	200		471.33	9.71

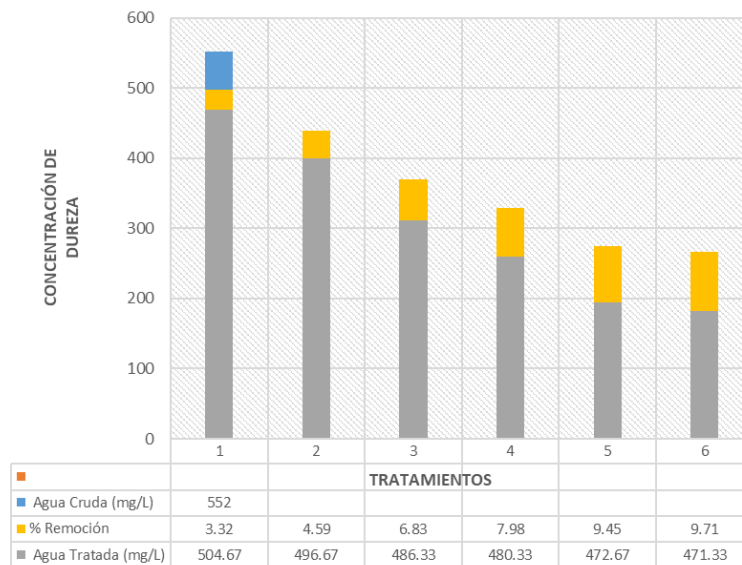


Figura 3. Eficiencia de remoción de dureza total con el tratamiento de Óxido de Calcio (CaO)

Porcentaje de remoción de Dureza Total con Óxido de Calcio (CaO) más Almidón de Yuca

En la Tabla 8, se destaca que el óxido de calcio (CaO) junto con el almidón de yuca, utilizando una dosis óptima de 200 mg/L de óxido de calcio y 20 mg/L de coagulante de almidón de Yuca, muestra un porcentaje superior de remoción de Dureza Total, alcanzando el 56.45%. Este hallazgo indica que la concentración inicial de Dureza Total, que era de 522 mg/L, ha experimentado una reducción significativa a 227.33 mg/L después de la aplicación de este tratamiento.

Tabla 8. Porcentaje de remoción de Dureza Total con Óxido de Calcio (CaO) más Almidón de Yuca

Tratamiento	Dosis		Dureza Total		
	CaO	Almidón de Yuca	Agua Cruda	Agua Tratada	%
	mg/L		(mg/L)	(mg/L)	Remoción
Óxido de calcio (CaO) + Almidón de Yuca	50	20	552	257.67	50.64
	80			250.00	52.11
	110			238.00	54.41
	140			234.67	55.04
	170			228.00	56.32
	200			227.33	56.45

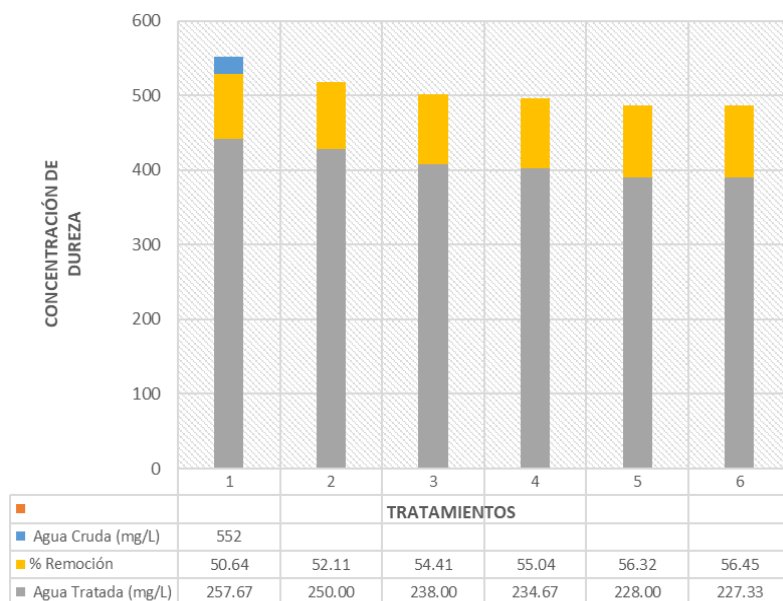


Figura 4. Eficiencia de remoción con el tratamiento Óxido de Calcio (CaO) y Almidón de Yuca

5 Comparación de los resultados estadísticos con los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 031-2010-SA

En la Tabla 9, se señala que el tratamiento con CaO, el pH varía ligeramente entre 8.52 y 8.57, situándose en el límite superior permitido por la normativa. En cuanto a la turbidez, los valores disminuyen conforme se incrementa la dosis, comenzando en 6.88 NTU (superior al límite) y descendiendo hasta 3.16 NTU, que cumple con la normativa. En el caso de la dureza, solo un valor supera los límites permitidos. Tanto la alcalinidad como la conductividad se mantienen dentro de los límites normativos en ambos tratamientos.

Con el tratamiento de CaO y almidón de yuca, el pH cumple con los límites establecidos en las dosis de 50, 80 y 110. Al aplicar este tratamiento, se observa una tendencia más marcada en la reducción de la turbidez, donde en las dosis más altas (170 y 200), los valores alcanzan 1.08 NTU y 0.53 NTU, respectivamente. En cuanto a la dureza, los valores son significativamente más bajos, oscilando entre 227.33 mg/L y 257.67 mg/L.

Tabla 9. Comparación de los resultados estadísticos con los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 031-2010-SA.

Parámetros	Unidad de Medida	Tratamiento	Dosis						D.S. N° 031-2010-SA L.M.P
			50	80	110	140	170	200	
pH	Valor de pH	CaO	8.53	8.53	8.57	8.56	8.52	8.54	6.5 a 8.5
		Almidón	8.44	8.45	8.46	8.54	8.59	8.56	
Turbiedad	NTU	CaO	6.88	5.17	4.38	3.30	3.23	3.16	5
		Almidón	7.04	4.13	0.53	0.77	0.96	1.08	
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	CaO	504.67	496.67	486.33	480.33	472.67	471.33	500
		Almidón	257.67	250.00	238.00	234.67	228.00	227.33	
Alcalinidad	mg/L	CaO	84.00	86	81.33	71.67	55.33	59.00	---

		Almidón	77.00	61.67	37.67	38.67	42.33	44.67	
		CaO	156.33	156.67	157.67	160.67	158.67	159.33	
Conductividad	μS/cm	Almidón	153.00	158	142.67	146.00	149.33	135.67	1 500

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

DISCUSIÓN

Los resultados presentados en la Tabla 4 evidencian variaciones significativas en los parámetros de calidad del agua tratados con diferentes dosis de óxido de calcio y almidón de yuca. En cuanto al pH, se observó que la dosis más baja de 50 mg/L generó el pH más bajo (8.44), mientras que la dosis de 170 mg/L produjo el pH más alto (8.59). Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad del óxido de calcio para actuar como un agente alcalinizante, como han señalado estudios previos (Shan et. al, 2024). Por ejemplo, (O'Donnell et. al, 2016b) reportaron un incremento en el pH al aplicar dosis elevadas de óxido de calcio, corroborando nuestras observaciones.

Los resultados muestran que la menor turbidez (0.53 NTU) se logró con 110 mg/L de óxido de calcio y almidón de yuca, evidenciando una eficacia superior en la eliminación de partículas en suspensión, mientras que la mayor turbidez (7.04 NTU) se asoció a una dosis de 50 mg/L. Estos hallazgos concuerdan con (Lugo-Arias et al., 2020), quienes también destacaron que dosis más altas de coagulantes reducen la turbidez significativamente. Asimismo, la mejora en la floculación con almidón de yuca, respaldada por (Asharuddin et. al, 2023), sugiere que los floculantes orgánicos son eficaces en optimizar procesos de coagulación. En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de ajustar las dosis para maximizar la calidad del agua tratada.

En relación con la dureza total, la combinación de 200 mg/L de óxido de calcio y 20 mg/L de almidón de yuca resultó en la menor concentración de dureza (227.33 mg/L), lo que sugiere una efectividad en la remoción de iones de calcio y magnesio. En contraste, la dosis de 50 mg/L produjo la mayor dureza (504.67 mg/L). Este hallazgo se alinea con las investigaciones de (Zhang et. al, 2020), quienes encontraron que dosis más altas de coagulantes no solo reducen la dureza, sino que también mejoran la floculación, facilitando la eliminación de contaminantes.

Con respecto a la alcalinidad, el tratamiento que combinó óxido de calcio con almidón de yuca a 110 mg/L obtuvo el valor más bajo (37.67 mg/L), mientras que el tratamiento con óxido de calcio a 50 mg/L mostró la mayor alcalinidad (86.00 mg/L). Estos resultados son consistentes con los reportados por (Orumwense et. al, 1990), quienes también observaron que un aumento en la concentración de coagulantes puede disminuir la alcalinidad del agua tratada. Esto podría deberse a la precipitación de bicarbonatos al añadir óxido de calcio.

Referente a la conductividad presentó un valor mínimo de 135.67 μS/cm con la combinación de 200 mg/L de óxido de calcio y almidón de yuca, en comparación con el máximo de 160.67 μS/cm registrado a 140 mg/L de óxido de calcio. Este comportamiento sugiere que el uso de almidón de yuca podría tener un efecto positivo en la reducción de la conductividad, tal como indican los hallazgos de (Fard et. al, 2021), quienes concluyeron que el uso de floculantes orgánicos puede contribuir a la disminución de la salinidad del agua tratada.

Por último, El tratamiento con CaO, según se muestra en la tabla 9, demuestra una buena capacidad para mantener ciertos parámetros dentro de los límites normativos, como la dureza total y la turbidez, aunque el pH se acerca peligrosamente al límite superior permitido. La alcalinidad también disminuye con este tratamiento, lo cual puede ser beneficioso si se busca reducir el contenido de bicarbonatos y carbonatos en el agua. Por otro lado, el tratamiento con CaO más almidón de yuca parece ser más efectivo en la reducción de la turbidez, dureza y alcalinidad, lo

que lo convierte en una opción más eficiente en estos aspectos. Además, este tratamiento mantiene baja la conductividad, lo que sugiere un menor contenido de sales disueltas en el agua.

CONCLUSIONES

Se concluye que en la obtención del óxido de calcio como a partir de la calcinación de la cascara de huevo se obtuvo un porcentaje de pureza de 15 %. Tomando en cuenta los procedimientos establecidos por investigaciones anteriores.

En la obtención del coagulante natural del almidón de yuca se obtuvo un porcentaje de pureza de 12 %.

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron antes de aplicar el tratamiento se muestran que existe un nivel de 552 mg/L de dureza total, una turbiedad de 23,2 NTU, un pH de 8.99 pH siendo un agua alcalina, también se evaluó la alcalinidad total de 110 mg/L, una conductividad de 185.81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una temperatura de 25.81.

Después de aplicar los tratamientos de acuerdo con el diseño experimental se obtuvo que con el tratamiento de óxido de calcio puro la dosis optima es de 200 mg/L de óxido de calcio a una concentración de 2%. Y en el caso del tratamiento de óxido de calcio más el coagulante natural de almidón de yuca se obtuvo datos de la dosis optima es de 200 mg/L de óxido de calcio considerando que la dosis de almidón de yuca es de 20 mg/L.

Para la evaluación de la eficiencia de los tratamientos se realizó el análisis estadístico obteniendo que el tratamiento de óxido de calcio puro a una dosis optima de 200 mg/L es de 9.71%. En cuanto a la eficiencia del óxido de calcio más el almidón de yuca a una dosis optima de 200 mg/L de óxido de calcio y la dosis de almidón de yuca fue de 20 mg/L fue de 56.45 % de remoción de dureza total.

Finalmente, el tratamiento con CaO es eficaz para reducir dureza y turbidez, aunque el pH alcanza valores cercanos al límite normativo. En cambio, la combinación de CaO y almidón de yuca resulta más eficiente, disminuyendo turbidez, dureza y alcalinidad de manera significativa, además de mantener baja la conductividad, optimizando así la calidad del agua.

REFERENCIAS

- Alimi, F., Tlili, M. M., Amor, M. Ben, Maurin, G., & Gabrielli, C. (2009). Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(8), 1327–1332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.06.008>
- ANA. (2016). *R.J. N° 010-2016-ANA* “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.”
- Angel Sevillano Portilla, M. (2018). Evaluación de la eficiencia del óxido de calcio procedente de la calcinación de la cáscara de huevo con aserrín de Bolaina (*Guazuma crinita* Martius), para el ablandamiento de las aguas de pozo, Lima 2018. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36242>
- Chiavola, A., Di Marcantonio, C., D’Agostini, M., Leoni, S., & Lazzazzara, M. (2023). A combined experimental-modeling approach for turbidity removal optimization in a coagulation–flocculation unit of a drinking water treatment plant. *Journal of Process Control*, 130, 103068. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procont.2023.103068>
- Dey, S., Veerendra, G. T. N., Phani Manoj, A. V., & Babu Padavala, S. S. A. (2024). Removal of chlorides and hardness from contaminated water by using various biosorbents: A comprehensive review. *Water-Energy Nexus*, 7, 39–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wen.2024.01.003>
- Eduardo Vigo Rivera, J. (2020). *Remoción de dureza del agua mediante resinas catiónicas para el uso industrial y consumo humano. Una revisión.* https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3322/Marcos_Trabajo_Bac_hiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Elizabeth, C., Zárate, H., Juliette, H., & Gutierrez, J. (2019). Metodología de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de pituca (*colocassia esculenta*) como auxiliar de coagulación. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2079/Claudia_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Evenstar, L. A., Mather, A. E., Hartley, A. J., Stuart, F. M., Sparks, R. S. J., & Cooper, F. J. (2017). Geomorphology on geologic timescales: Evolution of the late Cenozoic Pacific paleosurface in Northern Chile and Southern Peru. *Earth-Science Reviews*, 171, 1–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.004>
- Gaspar, I., & Mendez Cruz, V. (2021). Universidad Nacional de Cajamarca Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Hidráulica.
- Kozisek, F. (2020). Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 112, 104589. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>
- Li, J., How, Z. T., Benally, C., Sun, Y., Zeng, H., & Gamal El-Din, M. (2023a). Removal of colloidal impurities by thermal softening-coagulation-flocculation-sedimentation in steam assisted gravity drainage (SAGD) produced water: Performance, interaction effects and mechanism study. *Separation and Purification Technology*, 313, 123484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123484>
- Li, J., How, Z. T., Benally, C., Sun, Y., Zeng, H., & Gamal El-Din, M. (2023b). Removal of colloidal impurities by thermal softening-coagulation-flocculation-sedimentation in steam assisted gravity drainage (SAGD) produced water: Performance, interaction effects and mechanism study. *Separation and Purification Technology*, 313, 123484. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123484>
- Li, M., Zhang, D., Zhang, R., Wang, F., Song, Y., Chen, F., Yang, J., & Li, C. (2023). Recent advances in the unlined cast iron pipe scale characteristics, cleaning techniques and harmless disposal methods:

- An overview. *Chemosphere*, 340, 139849. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139849>
- Muniraj, S., Muthunarayanan, V., Venkataraman, S., Sunitha, T. G., & Thamaraiselvi, C. (2023). 6 - Drinking water treatment with natural coagulants—a promising alternative for sustainable water usage. In M. Sillanpää, A. Khadir, & K. Gurung (Eds.), *Resource Recovery in Drinking Water Treatment* (pp. 107–127). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99344-9.00008-6>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *La importancia del agua*. <https://www.un.org/es/observances/water-day#:~:text=Casi%20la%20totalidad%20del%20agua,el%20riego%20proviene%20de%20acu%C3%ADferos>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Garantizar un suministro de agua adecuado y seguro para la supervivencia y el crecimiento de niños y niñas*. <https://www.unicef.org/es/agua#:~:text=La%20falta%20de%20acceso%20al,asequible%20para%20todos%20en%202030>
- Ramírez Juárez, J. E., Alvarado Alvarado, M. A., Saucedo Zamarron, A., Alonso González, O., Baltazar Hernandez, V. H., Olmos Trujillo, E., & Villalobos de Alba, Á. A. (2023). Chemical conditioning of drinking groundwater through Ca²⁺/Mg²⁺ ratio adjust as a treatment to reduce Ca precipitation: Batch assays and test bench experiments. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103844. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103844>
- Reyes Tineo Waldir. (2019). *Influencia del consumo de agua dura de pozo sobre la salud de los pobladores del caserío Nuevo Huancabamba, Moyobamba, 2017*. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3379/1/SANITARIA%20-%20Waldir%20Reyes%20Tineo.pdf>
- Scholz, M. (2024). Chapter 17 - Water softening. In M. Scholz (Ed.), *Wetlands for Water Pollution Control (Third Edition)* (pp. 113–116). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13838-6.00017-3>
- Seguel Herrera Jaime patricio. (2018). Alternativas Tecnológicas para la Remoción de Incrustaciones generadas en Tuberías de PLS. <https://hdl.handle.net/11673/47061>
- Serpa, F. S., Silva, G. M., Freitas, L. F. L., Melo Filho, E. B., Nascimento, J. F., Pereira, L. S., Salazar-Banda, G. R., Borges, G. R., Dariva, C., & Franceschi, E. (2022). An experimental study of calcium carbonate precipitation with hydrate inhibitor in MEG recovery unit. *Upstream Oil and Gas Technology*, 8, 100061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.upstre.2021.100061>
- Susaeta, R., Benavente, D., Marchant, F., & Gana, R. (2018). Diagnóstico y manejo de litiasis renales en adultos y niños. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 29(2), 197–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2018.03.002>
- Tang, C., Merks, C. W. A. M., & Albrechtsen, H.-J. (2019). Water softeners add comfort and consume water - Comparison of selected centralised and decentralised softening technologies. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(7), 2088–2097. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.088>
- Tirado Paz, E. D., Portugal Cruz, M. F., Apaza Atencio, J. A., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Optimización de dos coagulantes naturales coadyuvados por hidróxido de sodio para la potabilización de aguas del río Caplina. *REVISTA VERITAS ET SCIENTIA - UPT*, 11(1), 87–98. <https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.600>
- Vázquez Martínez, D. L., Henkel García, J. L., Legorreta García, F., Barrientos Hernández, F. R., & Urbano Reyes, G. (2021). Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo. *Tópicos de Investigación En Ciencias de La Tierra y Materiales*, 8(8), 42–46. <https://doi.org/10.29057/aactm.v8i8.7578>
- Fard, M. B., Hamidi, D., Yetilmezsoy, K., Alavi, J., & Hosseinpour, F. (2021). Utilization of Alyssum mucilage as a natural coagulant in oily-saline wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101763. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101763>

- Li, J., How, Z. T., Benally, C., Sun, Y., Zeng, H., & Gamal El-Din, M. (2023). Removal of colloidal impurities by thermal softening-coagulation-flocculation-sedimentation in steam assisted gravity drainage (SAGD) produced water: Performance, interaction effects and mechanism study. *Separation and Purification Technology*, 313, 123484.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123484>
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., de la Puente, M., & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6), e04296.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- O'Donnell, A. J., Lytle, D. A., Harmon, S., Vu, K., Chait, H., & Dionysiou, D. D. (2016a). Removal of strontium from drinking water by conventional treatment and lime softening in bench-scale studies. *Water Research*, 103, 319–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.036>
- O'Donnell, A. J., Lytle, D. A., Harmon, S., Vu, K., Chait, H., & Dionysiou, D. D. (2016b). Removal of strontium from drinking water by conventional treatment and lime softening in bench-scale studies. *Water Research*, 103, 319–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.036>
- Orumwense, F. F. O., Eligwe, C. A., & Mbah, C. N. (1990). Flocculation behaviour of kaolinitic clay suspension using oxidized cassava starch. *Applied Clay Science*, 5(4), 295–306.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-1317\(90\)90026-L](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0169-1317(90)90026-L)
- Shan, G. N. M., Rafatullah, M., Siddiqui, M. R., Kapoor, R. T., & Qutob, M. (2024). Calcium oxide from eggshell wastes for the removal of pharmaceutical emerging contaminant: Synthesis and adsorption studies. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(8), 101174.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101174>
- Tirado Paz, E. D., Portugal Cruz, M. F., Apaza Atencio, J. A., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Optimización de dos coagulantes naturales coadyuvados por hidróxido de sodio para la potabilización de aguas del río Caplina. *REVISTA VERITAS ET SCIENTIA - UPT*, 11(1), 87–98.
<https://doi.org/10.47796/ves.v11i1.600>
- Vázquez Martínez, D. L., Henkel García, J. L., Legorreta García, F., Barrientos Hernández, F. R., & Urbano Reyes, G. (2021). Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo. *Tópicos de Investigación En Ciencias de La Tierra y Materiales*, 8(8), 42–46.
<https://doi.org/10.29057/aactm.v8i8.7578>
- Zhang, L., Mishra, D., Zhang, K., Perdicakis, B., Pernitsky, D., & Lu, Q. (2020). Electrokinetic study of calcium carbonate and magnesium hydroxide particles in lime softening. *Water Research*, 186, 116415. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116415>