



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano aplicando cáscara  
de huevo pulverizado.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Altamirano Tarrillo, Jhelmer Jesus ([orcid.org/0000-0001-9170-5847](https://orcid.org/0000-0001-9170-5847))

Soto Corra, Yomira Yajaira ([orcid.org/0000-0001-6891-2231](https://orcid.org/0000-0001-6891-2231))

**ASESOR:**

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto ([orcid.org/0000-0003-2052-6707](https://orcid.org/0000-0003-2052-6707))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los recursos naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO — PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

A mi madre que me guía siempre en cada paso que doy, a mi padre por apoyarme incondicionalmente para verme lograr mis objetivos y a mi familia por la confianza, el soporte y los mejores consejos y deseos brindados.

*Yomira Yajaira*

A Dios, ya que gracias a él he podido lograr concluir mi carrera, a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, a mis hermanos y familia por sus consejos y apoyo incondicional, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

*Jhelmer Jesús*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darnos, sabiduría, fortaleza y guiarnos a cumplir nuestra meta profesional.

A la Universidad César Vallejo por acogernos en su centro estudiantil y por el apoyo brindado para cumplir nuestro objetivo profesional.

A nuestro asesor Dr. Monteza Arbulú César Augusto, por su compromiso, apoyo y dedicación brindada durante el desarrollo de nuestra tesis.

A nuestras familias por la comprensión y apoyo brindado en cada uno de nuestros logros.

*Jhelmer Jesús y Yomira Yajaira*



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano aplicando cáscara de huevo pulverizado.", cuyos autores son SOTO CORRA YOMIRA YAJAIRA, ALTAMIRANO TARRILLO JHELMER JESUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 16 de Noviembre del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO <b>DNI:</b> 16681280 <b>ORCID:</b> 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 17- 11-2023 12:31:02

Código documento Trilce: TRI - 0654861



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, SOTO CORRA YOMIRA YAJAIRA, ALTAMIRANO TARRILLO JHELMER JESUS estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano aplicando cáscara de huevo pulverizado.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
SOTO CORRA YOMIRA YAJAIRA <b>DNI:</b> 72712532 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6891-2231	Firmado electrónicamente por: YSOTOCO el 04-04-2024 22:16:51
ALTAMIRANO TARRILLO JHELMER JESUS <b>DNI:</b> 71822646 <b>ORCID:</b> 0000-0001-9170-5847	Firmado electrónicamente por: JALTAMIRANOTAR el 04-04-2024 22:13:06

Código documento Trilce: INV - 1548627

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	16
3.2. Variable y operacionalización.....	21
3.3. Población, muestra y muestreo .....	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.5. Procedimientos.....	23
3.6. Método de análisis de datos.....	25
3.7. Aspectos éticos .....	25
IV. RESULTADOS .....	26
V. DISCUSIÓN .....	35
VI. CONCLUSIONES .....	39
VII. RECOMENDACIONES.....	40
REFERENCIAS.....	41
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Granulometría de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.</i> .....	16
<b>Tabla 2.</b> <i>Diseño “Antes y después con grupo de control” para determinar la eficiencia de remoción de cadmio utilizando cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> <i>Prueba de normalidad.</i> .....	26
<b>Tabla 4.</b> <i>Prueba de T de Student.</i> .....	27
<b>Tabla 5.</b> <i>Remoción de cadmio presente en las aguas del río Llaucano.</i> .....	28
<b>Tabla 6.</b> <i>Concentración de cadmio presente en el río Llaucano.</i> .....	29
<b>Tabla 7.</b> <i>Pureza de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.</i> .....	30
<b>Tabla 8.</b> <i>Dosis óptima para remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano a pH inicial 5,27 y pH inicial 6,3.</i> .....	31
<b>Tabla 9.</b> <i>Comparación de las concentraciones de cadmio de las aguas del río Llaucano antes y después del tratamiento con los ECA para agua categoría 3. ..</i>	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diagrama de procedimiento para producir óxido de calcio utilizando cáscara de huevo de gallina. ....	17
<i>Figura 2.</i> Eficiencia de remoción de cadmio. ....	28
<i>Figura 3.</i> Efecto en el pH. ....	28
<i>Figura 4.</i> Concentración de cadmio en el río Llaucano. ....	29
<i>Figura 5.</i> Pureza de óxido de calcio. ....	31
<i>Figura 6.</i> Remoción de cadmio. ....	32
<i>Figura 7.</i> Efectos del tratamiento a pH inicial 5,27. ....	32
<i>Figura 8.</i> Efectos del tratamiento a pH inicial 6,3. ....	33
<i>Figura 9.</i> Concentración de cadmio antes y después del tratamiento. ....	34



## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano utilizando cáscara de huevo pulverizado. Fue de enfoque cuantitativa y tipo aplicada, el diseño experimental fue de característica cuasi experimental y de nivel explicativo, la población estudiada fue el agua del río Llaucano Bambamarca – Cajamarca, tomando 1 muestra integrada de agua del río Llaucano, se empleó la observación experimental y fichas técnicas de laboratorio donde se registró los resultados obtenidos en cada ensayo, se realizó 8 pruebas de jarras 4 a pH inicial 5.27 y 4 a pH inicial 6.3, con una concentración inicial de cadmio de 2,7 mg/L; para determinar la eficiencia de remoción y la dosis óptima para el tratamiento en el río Llaucano, teniendo como resultado una eficiencia de 99,6% de remoción con la dosis 0.125 g de adsorbente y a pH durante el tratamiento de 8.158, la dosis óptima (0,125 g) logró remover el 100% de cadmio de las aguas del río Llaucano, concluyendo que la cáscara de huevo de gallina pulverizado y calcinado remueve más del 90% de cadmio en las agua del río Llaucano y se pueden aprovechar de manera efectiva como adsorbente.

**Palabras clave:** Remoción, cadmio, cáscara de huevo de gallina, río Llaucano.

## ABSTRACT

The study aimed to determine the efficiency of cadmium removal from the waters of the Llaucano River using pulverized eggshell. It was of a quantitative approach and applied type, the experimental design was quasi-experimental and explanatory level, the studied population was the water of the Llaucano River Bambamarca - Cajamarca, taking 1 integrated sample of water from the Llaucano River, experimental observation and laboratory technical sheets were used where the results obtained in each test were recorded, 8 jar tests were carried out, 4 at initial pH 5.27 and 4 at initial pH 6.3, with an initial cadmium concentration of 2.7 mg/L; to determine the removal efficiency and the optimal dose for treatment in the Llaucano River, resulting in a removal efficiency of 99.6% with the dose of 0.125 g of adsorbent and a pH during treatment of 8.158, the optimal dose (0.125 g) managed to remove 100% of cadmium from the waters of the Llaucano River, concluding that the pulverized and calcined chicken eggshell removes more than 90% of cadmium in the water of the Llaucano River and can be effectively used as an adsorbent.

**Keywords:** Removal, cadmium, chicken eggshell, Llaucano river.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el avance sostenible, jugando un papel crucial en el desarrollo económico, la producción de energía, la provisión de alimentos y la continuidad de la vida humana. Se reconoce por ser conexión vital entre el medio ambiente y la población, teniendo en cuenta que la existencia y la gestión efectiva del agua son imprescindibles con el fin de mantener la viabilidad a largo plazo en todas las dimensiones de la vida («Agua | Naciones Unidas» 2019). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) al año 2017, entre el 70% y el 80% de las industrias y minas vertían sus aguas residuales sin descontaminación inicial, lo que provoca un resultado perjudicial en la preservación de la vida y el progreso económico.

Mark Cutifani, en *Minería Sostenible 2022*, sostuvo que el sector minero impulsa el 45% de la economía global. Sin embargo, en años recientes, las actividades mineras cerca de las masas de agua han causado alteraciones en la aptitud y volumen del agua, dando lugar a incidentes de contaminación preocupantes que han afectado los ecosistemas vegetales, la vida animal y el bienestar humano (Zeinalzadeh y Rezaei 2017, p.1).

Según el Instituto Peruano de Economía (IPE) 2018, el país se destaca como uno de los principales generadores a nivel mundial de plata, cobre y oro, contribuyendo con un 10 % del Producto Bruto Interno (PBI). A pesar de esto, la actividad minera genera desequilibrios en los procesos bióticos naturales, lo cual perturba la calidad del entorno natural. (Martínez, 2021).

Esta actividad de extracción es responsable de la liberación de metales pesados como el Pb, Hg, As y Cr. Debido a las altas concentraciones, estos metales se han vuelto perjudiciales para los sistemas ecológicos y la existencia. Además, se encuentra el Cd, un metal que se considera tóxico y que generalmente está presente en las aguas negras. (García, 2020).

Según los documentos publicados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2015, se descubrió que el río Llaucano fue impactado por varias labores extractivas en la región. La agencia estatal realizó monitoreos participativos que posibilitaron la identificación de varios metales pesados como Al, Ca, sulfato, As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn. También se encontraron niveles de oxígeno disuelto (OD) y coliformes que excedieron el nivel más alto permitido. De acuerdo con la Resolución Jefatural N.º 202-2010-ANA, el río Llaucano se encuentra en la categoría 3: Riego de vegetales y consumo de animales, esto implica adherirse a específicos estándares físicos, químicos y biológicos para asegurar su uso correcto.

El río Llaucano ha enfrentado dificultades considerables debido a la existencia de desechos sólidos y aguas residuales que se han vertido en su curso. Además, los cuerpos lóticos que contribuyen a su flujo muestran niveles elevados de polución debido a la existencia de residuos mineros ambientales en la región. (ANA, 2021).

Dado lo anterior, numerosos investigadores con el objetivo de abordar estos problemas ambientales, están dedicados a la crucial tarea de buscar otras opciones para eliminar o disminuir los niveles de estos metales. Buscan soluciones amigables con el ambiente en el tiempo y aporten beneficios al ecosistema, la economía y la sociedad, que se consideran los fundamentos de la sostenibilidad. (Bolaños, Capa y Cumbal, 2021, p. 2).

Frente a esta situación, es necesario el uso de bioadsorbentes para la remoción de metales pesados de masas de agua. ya que han demostrado tener efectos positivos y poseen ventajas en comparación con sus equivalentes tradicionales por su alta accesibilidad, coste reducido y ser eco amigable. Algunos de estos son cáscaras de origen natural como naranja, plátano, huevo de codorniz, almendra, sandía, yuca, entre otros. (De la Cruz y Quiroz 2020).

Según Makuchowska (2019), la cáscara de huevo se encuentra entre estos bioadsorbentes, con una producción en Perú de 500,000 toneladas de huevos de gallina, de acuerdo con el Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias (SIEA) 2021. La cáscara de huevo de gallina se ve como un desecho, que podría transformarse

en un sustituto alternativo a la piedra caliza arcillosa para la reducción de la concentración de metales, ya que muestra propiedades distintivas en su composición química y estructura, ya que tiene un alto contenido (94%) de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ).

En su incesante búsqueda de obtener resultados superiores en la eliminación de metales pesados, Rodríguez (2021), se adentra en un enfoque innovador, sometiendo a altas temperaturas la cáscara de huevo de gallina con el propósito de potenciar su eficacia.

Después de describir los problemas a nivel internacional, nacional y regional, se planteó el siguiente problema general: ¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de huevo de gallina pulverizado para eliminar el cadmio en las aguas del río Llaucano?

La investigación es conveniente debido a que los resultados que se obtengan servirán para mejorar los procesos de aquellas empresas que vierten sus efluentes conteniendo un porcentaje elevado de metales pesados, socialmente se justifica ya que al llevar a cabo sus procesos de manera eficiente los cuerpos de agua serán seguros, así como a todo investigador en la temática a hacer uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, promoviendo de esta manera la economía circular.

Sirve como una base teórica para posteriores estudios relacionados a la búsqueda de tecnologías amigables para tratamiento de cuerpos de agua que presentan elevadas concentraciones de elementos metálicos de alta densidad, en el caso de estudio para remoción de cadmio, considerado altamente tóxico para los sistemas ecológicos y el estado de salud de las personas.

Se justifica ambientalmente debido a que ofrece un material considerado residuo como solución para eliminar metales pesados de cuerpos de agua y vertidos industriales, reduciendo el daño ambiental y promoviendo la reutilización.

Además, se convertirá en una herramienta para solucionar problemas basándose en el proceso metodológico utilizado. En cuanto a la metodología, se justificó en el tipo de investigación, diseño, técnica e instrumentos que serán el punto de partida para investigaciones futuras sobre el tema.

También, se presentó como objetivo general: Determinar la eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano utilizando cáscara de huevo de gallina pulverizado. Los objetivos específicos son: Identificar la concentración inicial del cadmio presente en las aguas del río Llaucano. Determinar la pureza de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano. Determinar la dosis óptima de cáscara de huevo de gallina pulverizado para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano y comparar la concentración de cadmio de las aguas del río Llaucano con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 antes y después del tratamiento.

Así mismo, la hipótesis general es: La cáscara de huevo de gallina pulverizado y calcinado a 800°C remueve más del 90% de cadmio de las aguas del río Llaucano.

## II. MARCO TEÓRICO

Bedoya y Valencia (2020), en su investigación sobre el uso potencial de la cáscara de huevo de gallina, realizaron una revisión exhaustiva, en donde enfatizan que debido al elevado volumen de cáscaras de huevo como residuo es que ha llevado a muchos investigadores a interesarse en su aprovechamiento para uso industrial al punto que en Europa se ha incorporado a la “economía circular”, llegando a implementarse como complemento en el diseño y producción de innovaciones, entre las industrias se encuentran la farmacéutica, cosmética, química y alimentaria; concluyendo que a pesar de la gran cantidad de estudios que permiten su utilización, resultan insuficientes en comparación a la gran cantidad de desechos que se produce a nivel mundial y además el elevado costo de manejo y disposición final.

Timosthe et al (2022), realizaron una revisión sistemática sobre bioadsorbentes atípicos utilizados en la eliminación de metales pesados, con el propósito de mostrar un repaso de los bioadsorbentes más utilizados a nivel global que tienen un bajo costo para remover metales pesados, como resultado de su investigación se verificó que los biopolímeros, la biorremediación y el uso de residuos agroindustriales están incluidos entre los métodos no convencionales, de los cuales los más utilizados se encuentran las cáscaras provenientes de yuca, plátano, cítricos y huevos, así como la borra del café y la caña de azúcar, concluyendo que en los diversos estudios consultados muestran el elevado potencial para la bioadsorción de metales pesados en medios líquidos, debiéndose principalmente que el método es eficiente, económico y sustentable, contribuyendo de manera eficaz a la prevención de la contaminación.

Mittal et al (2016), tuvieron como objetivo describir el uso de la cáscara de huevo (*ES*) y la membrana de cáscara de huevo (*ESM*) como adsorbente, los compuestos principales de la cáscara de huevo son carbonato de calcio (94%), materia orgánica (4%), fosfato de calcio (1%) y carbonato de magnesio (1%). De la revisión de la literatura establecieron que puede aplicarse para tratar contaminantes orgánicos como tintes, ácido oxálico, fenoles, plaguicidas (malatión), ácido húmico, colorantes orgánicos, productos farmacéuticos (morfina), sulfonatos de alquilensenos lineales,

hidrocarburos aromáticos policíclicos (*HAP*), contaminantes inorgánicos (actínidos, cromo, cobre, cadmio, plomo, metales preciosos, metales ligeros, fluoruros, arsénico, mercurio, oro), concluyendo que Ishikawa en el año 1999 eliminó por primera vez actínidos de aguas residuales utilizando *ESM* y en los años 2000 al 2001 el ion  $Cd^{2+}$  fue eliminado de aguas residuales.

El estudio de Sankaran et al (2020), tuvo como objetivo examinar el uso del complejo de cáscara de huevo y metal (*ES-M*) como adsorbente para la albúmina de suero bovino (*BSA*). Las cáscaras, recolectadas en New Taipéi, Taiwán, se caracterizaron física y químicamente. Las partículas de *ES*, compuestas principalmente de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ), varían entre 100  $\mu m$  y 700  $\mu m$ . La cantidad de *BSA* se determinó mediante el método de Bradford. La capacidad máxima de unión se logró con 32,57 mg de cáscara de huevo con Zn a pH 5, atribuido a la carga electrostática de las moléculas de *BSA* y Zn.

Makuchowska (2019), realizó estudios sobre la eficiencia de remoción de cationes de Ni, Cu y Cd, para lo cual se utilizó caliza arcillosa, cascarón de huevo de gallina procedente de consumo y cáscara de huevo de gallina posterior a la eclosión, los cuales tienen como principal elemento el carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ), determinando que la eliminación de cationes metálicos, se produjo debido a reacciones químicas que generaron hidróxidos y carbonatos poco solubles, los cuales pueden adsorberse físicamente en la estructura de las cáscaras de huevo y no debido a un intercambio iónico heterofásico y adsorción química. Lograron demostrar que la efectividad de la remoción depende del tiempo de contacto, la relación volumen de solución/masa del adsorbente, temperatura y pH de la solución.

Tizo et al (2018), tuvieron como objetivo investigar la aplicabilidad y eficiencia de los desechos de cáscara de huevo de pollo como adsorbente para eliminar metales pesados (Cd) en solución acuosa, para el diseño experimental se consideró la concentración inicial del metal (Nitrato de cadmio o  $CdNO_3$ ), el tiempo de contacto (58, 75, 100, 125 y 142 minutos) y la dosis del adsorbente (0.58, 0.75, 1.00, 1.25 y 1.42 gramos), los resultados mostraron que la cáscara de huevo de pollo podía eliminar cadmio hasta en un 73 %, teniendo una capacidad de adsorción óptima de



146 mg/L de 150 mg/L, con un tiempo de contacto de 75 min, dosis de adsorbente de 0.75 g, pH 6 y temperatura ambiente.

Park et al (2007), se centraron en investigar la capacidad de eliminación de metales pesados tóxicos utilizando cáscara de huevo reutilizada, para obtener las cáscaras de huevo se recolectó de panaderías en Busán – Corea del Sur, las cuales fueron calcinadas a 800 °C por 2 horas, para el diseño experimental se mezclaron 20 g de cáscara de huevo con 800 ml de agua contaminada con metales pesados (Cd, Cr y Pb), para el tratamiento utilizaron prueba de jarras a 120 rpm para mezcla rápida y 30 rpm para mezcla lenta y a temperatura ambiente. Concluyendo que la cáscara de huevo natural logró remover gran parte de Pb, sin embargo, la cáscara de huevo calcinada logró mayor eficiencia para remover Cd y Cr.

Wei et al (2022), su investigación se centró en estudiar el desempeño de bacterias carbonatadas - mineralizadas combinadas con cáscara de huevo para inmovilizar Pb y Cd en agua y suelo, para lo cual se aislaron bacterias productoras de ureasa con tolerancia a metales, para la experimentación se separaron cuatro cepas de acuerdo a su actividad de ureasa, determinando que los aislamientos UR1, UR16 y UR21 correspondieron al género *Bacillus sp* y el aislado UR20 al género *Citrobacter sp*; encontrándose que la producción de calcita fue en mayor proporción proveniente de UR21 y UR1 con 20,2 mg/ml, seguido de UR16 con 19,6 mg/ml y UR20 con 17,1 mg/ml; de los cuales UR21 tuvo tasas más altas de eliminación de Pb (81,9%) y Cd (65,0%).

La investigación De la Cruz (2020), se enfocó en evaluar la efectividad de las cáscaras naturales como agentes adsorbentes para eliminar metales pesados (Cr, Pb, Cu, Cd) de aguas contaminadas. El estudio, de enfoque cuantitativo, llevó a cabo un metaanálisis y una revisión sistemática de estudios existentes, sin experimentación directa. Los resultados mostraron altos porcentajes de remoción: 93.13% para Cr, 90.8% para Pb, 85.9% para Cu y 90.5% para Cd, evidenciando la eficacia de las cáscaras naturales como bioadsorbentes. Este hallazgo destaca la viabilidad de utilizar recursos como la cáscara de huevo para combatir la contaminación por presencia de metales de gran densidad en el agua. La investigación subraya la importancia de considerar estos materiales como una

opción efectiva y accesible, lo que sugiere su utilidad práctica y la necesidad de explorar su aplicación a mayor escala para mitigar la contaminación hídrica por metales pesados.

Cossio y León (2021), en su investigación uso de bioadsorbentes en la eliminación del cadmio en aguas: Una revisión sistemática y metaanálisis, tuvo como principal objetivo precisar la eficiencia de bioadsorbentes para eliminar cadmio de medio acuoso, se empleó un diseño no experimental y descriptivo, se procedió a realizar una revisión sistemática en *Scopus* y *Web of Science* con el fin de obtener una búsqueda bien definida el cual se recaudó 53 artículos que fueron analizados por Revman y Excel, siendo las cáscaras (huevo, maní, castaño, etc.) y hongos los más eficientes, en conclusión muestran que los bioadsorbentes son una buena alternativa para remover cadmio en el agua.

Mesías (2019), en su investigación aplicación de cáscara de huevo calcinada para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas. Tuvo como objetivo explicar sobre adsorción y como la cáscara de huevo calcinada como adsorbente remueve metales en aguas, se empleó un diseño no experimental, nivel descriptivo, la búsqueda sistemática de algunos resultados de investigaciones, hicieron que llegaran a la conclusión de que la cáscara de huevo no puede ser más un desecho y puede servir como bioadsorbente de manera útil para remover metales en aguas.

Correa (2018), en su tesis donde compara la eficiencia de la cáscara de huevo de dos especies, codorniz y gallina para reducir Cu y Pb en aguas infectadas a nivel de laboratorio, tuvieron como objetivo comparar las eficiencias de estas dos cáscaras para poner darles un valor a estos residuos, el diseño fue experimental, se realizó 24 tratamientos con el uso de la prueba de jarras, se trabajó con diferentes dosis y número de mallas, luego de ver los resultados finales, se pudo concluir que la cáscara de huevo gallina es más eficiente que la cáscara de huevo de codorniz, sin embargo no queda descartado la segunda opción.

Sevillano (2018). En su investigación para determinar la efectividad del óxido de calcio derivado de la calcinación de la cáscara de huevo junto con el aserrín de Bolaina para ablandar pozos de agua, tuvo como objetivo evaluar que tan eficiente es el óxido de calcio procedente de estos dos residuos, la investigación se realizó

con una estructura experimental, la muestra fue 5 litros de agua de pozo, se logró obtener óxido de calcio y se pudo de esta manera ablandar el agua a un 80% de eficacia, lo que se concluye que las cáscaras de huevo calcinadas remueven metales pesados de manera significativa de una forma sostenible.

Marmanillo y Taboada (2019). En su investigación tuvo como objetivo fundamental analizar el tamaño de la partícula de cáscara de huevo y la duración de la adsorción eliminación del cobre, la investigación fue de diseño experimental, tipo aplicada, se recogieron muestras de aguas de relaves mineros, se identificó la concentración inicial de cobre mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente, se logró obtener un 95.51% de adsorción de Cu, lo que permitió concluir que este producto reduce contaminantes de relaves mineros de una manera reveladora.

Rodríguez (2021), tiene como objetivo principal salvaguardar la naturaleza de los impactos perjudiciales causados por la descarga de aguas residuales de las ciudades y las industrias, como bioadsorbente se utilizó la cáscara de huevo, para la experimentación se prepararon cinco muestras de cáscara, una sin tratar y otras 4 tratadas mediante calcinación a distintas temperaturas, la cáscara calcinada a 750°C presentó una mejor adsorción que el resto, se logró remover el 90% y se presentó un buen resultado, concluyendo que la cáscara de huevo calcinada tiene buenos resultados en la adsorción de contaminantes emergentes y aguas residuales.

Para complementar esta investigación se ha considerado implementar un marco conceptual de términos y variables.

El agua, ocupa una posición central en el desarrollo sostenible y es de importancia crucial para que una sociedad se desarrolle tanto económica y energéticamente, además que le permita asegurar la producción de alimentos y se asegure la supervivencia del género humano. (*United Nations, 2019*)

El agua, según su calidad se clasifica en agua segura y contaminada, representa uno de los recursos más vitales y limitados en el mundo, muchas comunidades no tienen acceso a agua limpia y segura y se encuentran en la necesidad de emplear

fuentes poco deseables, lo que causa enfermedades en las personas (MINSAs 2018).

Dirección General de Salud Ambiental (2023), nos indica que el agua de los ríos es sumamente importante para la agricultura y ganadería, por lo que es vital que su calidad sea la adecuada para el normal desarrollo de estas actividades, sin ocasionar daños al ambiente ni afectar de manera indirecta al ser humano.

La Digesa (2022); hace un llamado a la población para que proteja el agua y utilice únicamente aquella que sea segura. Todos tenemos la responsabilidad de cuidar este recurso vital y no desperdiciarlo, buscando asegurar el bienestar de la comunidad.

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*US EPA*) 2015; los metales pesados son elementos químicos con pesos atómicos altos. Algunos de los metales pesados más conocidos y estudiados son: arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo; es importante prevenir o reducir al mínimo la exposición a estos metales con el objetivo de proteger tanto la salud de seres humanos y ecosistemas.

Mediante el Decreto Supremo 004-2017-MINAM, se gestó un hito significativo en el ámbito ambiental al establecer rigurosos estándares de calidad para el agua, reflejando el compromiso del país con la protección de sus recursos hídricos y la garantía de un entorno saludable. Dentro de las categorías de agua definidas, la categoría 3 se subdivide en “riego de vegetales” y “bebida de animales”, reconociendo que diferentes usos del agua pueden requerir diferentes niveles de calidad. En relación con el cadmio, el decreto establece límites específicos: 0,01 mg/L para el “riego de vegetales” y 0,05 mg/L para la “bebida de animales”. Estos límites son fundamentales para garantizar la seguridad del agua y están sujetos a actualización en base a los progresos científicos y tecnológicos, así como de las políticas ambientales del país.

Así mismo Facultad de Ciencias de la Salud (*FACSA*) 2017; indica que los metales pesados están presentes en los desechos de actividades mineras, comerciales e industriales, lo cual conlleva a una amplia contaminación.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2016, la presencia de metales como el cadmio, cobre, cromo, plomo entre otros, en el agua puede representar una problemática medioambiental relevante debido a su alta toxicidad. Cuando los niveles de estos metales en el agua alcanzan concentraciones elevadas, pueden ocasionar intoxicación y generar impactos adversos en la salud de seres humanos y hábitats acuáticos.

Los metales pesados son sumamente complejos de retirar una vez que se mezclan con el agua, ya que son difíciles de eliminar. Sin embargo, existen tecnologías que pueden contribuir a reducir su concentración. Una vez que estos metales ingresan a un cuerpo de agua a través de procesos biogeoquímicos, se transforman y se dispersan entre las especies que habitan en esos ecosistemas. (Reyes et al. 2016).

El cadmio es un metal pesado maleable y se encuentra de forma inherente en la capa externa de la tierra de manera natural, pero la mayor parte proviene de actividades humanas, este metal se dispersa a través del aire, agua y suelo; y se puede transmitir de manera indirecta al ser humano a través del consumo de pescados, carnes y vegetales. (MINSA, 2015).

El cadmio se encuentra en casi todos los organismos en pequeñas cantidades y su utilización en la industria ha traído efectos sobre la salud, entre ellos dolores óseos y musculares en los afectados. Según informes del MINSA (2015) el Cd es considerado un xenobiótico, vale decir una sustancia perjudicial y no requerida por el organismo del ser humano. Su grado de toxicidad varía según la forma de exposición, el tipo de compuestos, la dosis y la solubilidad.

De la cruz y Quiroz (2020), realizaron una investigación de revisión sistemática para obtener información sobre los posibles adsorbentes de cadmio utilizando cáscaras naturales, los cuales lograron porcentajes de remoción muy altas, demostrando un 70% a un 99.5% de eficiencia la cáscara de jatoba, plátano y huevo.

Al ser el Cd un metal muy tóxico, es necesario soluciones para reducir sus concentraciones en medios líquidos y para ello Conti, Huerta y Salvático (2019), señala que las cáscaras naturales, se consideran como restos orgánicos y por lo general provienen de hogares e industria de alimentos, la gran mayoría de estos

restos están compuestos por lignina, celulosa y poseen aproximadamente un 65% de  $H_2O$ , celulosa 7%, lignina 63% y material sólido un 30% y pueden ser favorables para la adsorción de este metal.

Para Makuchowska, (2019), la cáscara del huevo de gallina, con sus características únicas en composición química y estructura, se incluye en este conjunto de bioadsorbentes.

Para esto es necesario conocer las propiedades de la cáscara de huevo de gallina, ante lo cual Jones et al (2010), menciona que un gran porcentaje de este recurso está compuesto por  $CaCO_3$  (98%) comúnmente conocido como calcita, además aproximadamente un 1% de  $MgCO_3$  y  $CaHPO_4$ .

En la misma línea, Castillo y Ródenas (2018), afirman que la cáscara del huevo se compone de tres capas, la capa mamilar se une a la membrana testácea mediante puentes de queratina y se calcifica en estructuras de cono, la capa intermedia está formada por  $CaCO_3$  y  $Mg$ , así como de  $Ca_3(PO_4)_2$ , dispuestos en columnas conectadas por fibras colágenas elástica y la capa cutícula externa es una membrana orgánica constituida por proteínas glucosiladas, que actúa como protección contra microbios y desaparece después de unos días. Estas columnas crean poros que permiten el intercambio de gases.

Al investigar las propiedades físicas de la cáscara de huevo de gallina, se encontró que los poros presentes en ella son heterogéneos y sus cavidades tienen formas redondas de diversos tamaños, tal como han coincidido Tizo et al. (2018) y Wenjing, Shuming y Guoyou (2016). Además, se observaron grietas que se asemejan a la forma de una tortuga. Estas características, junto con la gran cantidad de poros que varía entre 7000 y 70000, y su diámetro que oscila entre 4 y 40  $\mu m$ , facilitaron significativamente el proceso de adsorción de cadmio. Estos hallazgos coincidentes respaldan la eficacia de la cáscara de huevo de gallina como un material adecuado para la adsorción de cadmio debido a su estructura porosa y sus propiedades físicas específicas.

Para una mejor adsorción se recomienda calcinar estas cáscaras de huevo de gallina a altas temperaturas, según Castro et al (2018), en su investigación

realizaron la calcinación con tres temperaturas (800°C, 900°C y 1000°C), de las cuales 800°C fue la más eficiente debido que cuenta con una mayor cantidad de poros y el gasto energético es menor, en contra posición a 1000°C, el producto se sintetiza pudiendo llegar a perder porosidad.

De igual manera Olivares, et al (2021) en su investigación experimentó elevando la temperatura de calcinación a 800°C, debido a que a temperaturas elevadas muchos de los elementos presentes se descomponen quedando únicamente óxido de calcio ( $CaO$ ).

Según Sevillano (2018), nos dice que para producir óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina, se necesita del siguiente procedimiento, primeramente, se realiza el lavado de la cáscara de huevo, para luego ser secada en una estufa por un tiempo determinado, luego pasa por un mortero para que se realice la trituración de la misma, por consecuente se realiza el tamizado con determinado número de malla, de preferencia números de malla altos, para que la granulometría sea muy fina, obtenido aquello se realiza el calcinado por dos horas a una temperatura de 200°C durante una hora y 700°C, durante la siguiente hora, luego se almacena dentro de un desecador para que la muestra no gane humedad.

Para comparar la composición química de la cáscara de huevo de gallina, Park et al (2007), en su investigación ejecutaron la identificación de los componentes químicos en la cáscara de huevo en su estado natural y después de ser calcinada, utilizando un analizador gravimétrico (*TGA-951 DuPont Instruments Co. EE.UU.*), obteniendo que la cáscara de huevo natural se compone de calcio (91.94%), silicio (4.30%), aluminio (1.44%), sodio (0.53%), potasio (0.48%), flúor (0.42%), fósforo (0.32%), cloro (0.25%), estroncio (0.16%), hierro (0.09%), zinc (0.07%) y circonio (0.01%) y la cáscara de huevo calcinada se encuentra compuesto en mayor porcentaje de calcio (99.63%), potasio (0.14%), fósforo (0.06%) y estroncio (0.16%), este resultado indica que la composición de la cáscara del huevo se pueden cambiar mediante calcinación y sugiere que una muestra relativamente pura puede obtenerse de la cáscara del huevo mediante la eliminación de sustancias orgánicas.

Este proceso de modificación química encuentra aplicaciones en la adsorción, que es ampliamente reconocida en la actualidad como un proceso altamente eficiente para la remoción de diversos compuestos tóxicos, incluyendo los metales pesados, presentes en medios acuosos. Este método se basa en la interacción entre los contaminantes presentes en el agua y una superficie sólida, donde los contaminantes se adhieren a dicha superficie. La adsorción se considera uno de los enfoques más efectivos debido a su capacidad para capturar una amplia variedad de compuestos tóxicos. Estos hallazgos son respaldados por la investigación que realizó Meneguín et al. (2017), que resalta la eficiencia de la adsorción como un proceso de remoción de contaminantes en medios acuosos.

Según Chen et al (2019), refiere que en la actualidad las investigaciones sobre bioadsorción han crecido exponencialmente debido a la necesidad de reemplazar los recursos convencionales por materiales biodegradables con capacidad de adsorción, los cuales aportan de manera ecológica y económica frente a los convencionales que se caracterizan por ser costosos y finitos, lo que compromete según la Organización de las Naciones Unidas (2010), la consecución de las metas de sostenibilidad, en el ámbito social, económico y protección ambiental.

En la misma línea de estudio sobre la cáscara de huevo de gallina Tizo et al (2018), determinó que presenta una estructura porosa lo que permitió remover hasta un 73% de cadmio de un medio líquido, la cantidad inicial de este metal pesado fue de 150 mg/l, la dosis del adsorbente de 0.75 g y un tiempo de contacto de 1 hora 15 minutos, logrando remover 146 mg/l.

Otros tratamientos convencionales enfocados en eliminar metales pesados, más destacados en la industria se puede dividir en procesos químicos, físicos y biológicos, se puede dar una precipitación química, intercambio iónico, adsorción y absorción.

Park et al (2007), utilizaron cáscara de huevo de gallina natural y calcinado para remover metales pesados, donde determinaron que la remoción del cadmio se dio tanto por adsorción y precipitación, es decir mediante adsorción física y química.



La precipitación química es un procedimiento para generar un sólido a partir de una solución líquida, consiste en la adición del agente precipitante, el cual ajusta el pH, floculación, sedimentación, separación de sólido y líquido, siendo este uno de los métodos más utilizados para tratamiento de aguas contaminadas. *CEUPE* (2019)

El estudio realizado por De la Cruz y Quiroz (2020), propone rangos óptimos de pH para la remoción de metales pesados en diversos medios, se sugiere que el rango óptimo para la remoción del plomo se encuentra entre 4 y 6, mientras que para el cadmio el rango es de 4 a 7.5. En el caso del cobre, se establece un rango óptimo de 4 a 7, y para el cromo, el rango sugerido es de 1 a 6.5. Estos rangos indican los niveles deseables de reducción de cada metal en el medio o muestra analizada.

En relación al tamaño de partículas de adsorbente un estudio realizado por Marmadillo y Taboada (2019), determinaron que en el tratamiento de metales pesados utilizando cáscaras naturales, variaron considerablemente. Para el plomo (Pb-II), los tamaños de partículas oscilaron entre 0.047 mm y 37 mm, para el caso del cadmio (Cd-II), los tamaños de partículas encontrados fueron desde 0.00022 mm hasta 125 mm, en relación al cobre (Cu-II), se observaron tamaños de partículas que iban desde 0.2 mm hasta 1 mm y para el cromo (Cr-VI), se encontraron tamaños de partículas que variaron desde 0.10 hasta 446 mm.

La temperatura es un parámetro a considerar en la adsorción de metales pesados, según lo señalado por Terence et al. (2017), la elección de trabajar a temperatura ambiente en todas las corridas experimentales para la remoción de metales pesados como plomo, cobre, níquel, zinc y cadmio, proporcionó un equilibrio adecuado entre la eficiencia del proceso de adsorción y la viabilidad operativa, eliminando la necesidad de equipos de calentamiento o enfriamiento adicionales, respaldando la importancia de elegir la temperatura correcta para maximizar la eficacia del proceso de remoción de metales pesados.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación fue de enfoque cuantitativa, dado que ha sido orientado hacia aspectos observables y adaptables a la cuantificación, el trabajo responde a una investigación de tipo aplicada, según Álvarez (2020), es cuando el estudio se centra en obtener nuevos métodos, técnicas y/o procedimientos para resolver problemas prácticos, promoviendo el progreso y potenciando la calidad de vida de la sociedad.

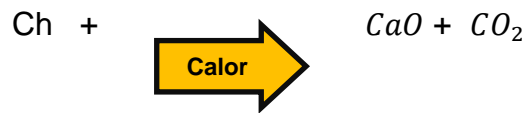
El diseño experimental fue de característica cuasi experimental, de alcance transversal o transaccional y de nivel explicativo, Arias y Covinos (2021), nos dice que es cuasi experimental porque existe un grupo de control, y no es posible usar sujetos de forma aleatoria y se puede manipular la variable independiente con la finalidad de buscar los mejores resultados, es transversal porque la información se recoge en un punto determinado del tiempo y solo una vez, además es explicativo porque se dedica a investigar las razones detrás de los hechos, estableciendo relaciones de causa y efecto entre sus variables.

Para la producción de óxido de calcio a partir de la cáscara de huevo de gallina, los cuales fueron adquiridos del mercado de abastos Batangrande – Pitipo, el cual se abastece de productores avícolas locales, por lo tanto, se asume que su alimentación es balanceada y se implementó el plan representado en el proceso de la figura 1. En este procedimiento, se emplearon 115 gramos de cáscara de huevo de gallina. Posteriormente se realizó el calcinado en una mufla durante un tiempo de 2 horas a 800°C. Finalmente se utilizó un tipo de granulometría (ver tabla 1).

**Tabla 1.** *Granulometría de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.*

Granulometría	Malla	Micras ( $\mu\text{m}$ )
G1	200	75

Fuente: Elaboración propia



Dónde:

- Ch: Cáscara de huevo de gallina.
- CaO: Óxido de calcio.
- CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

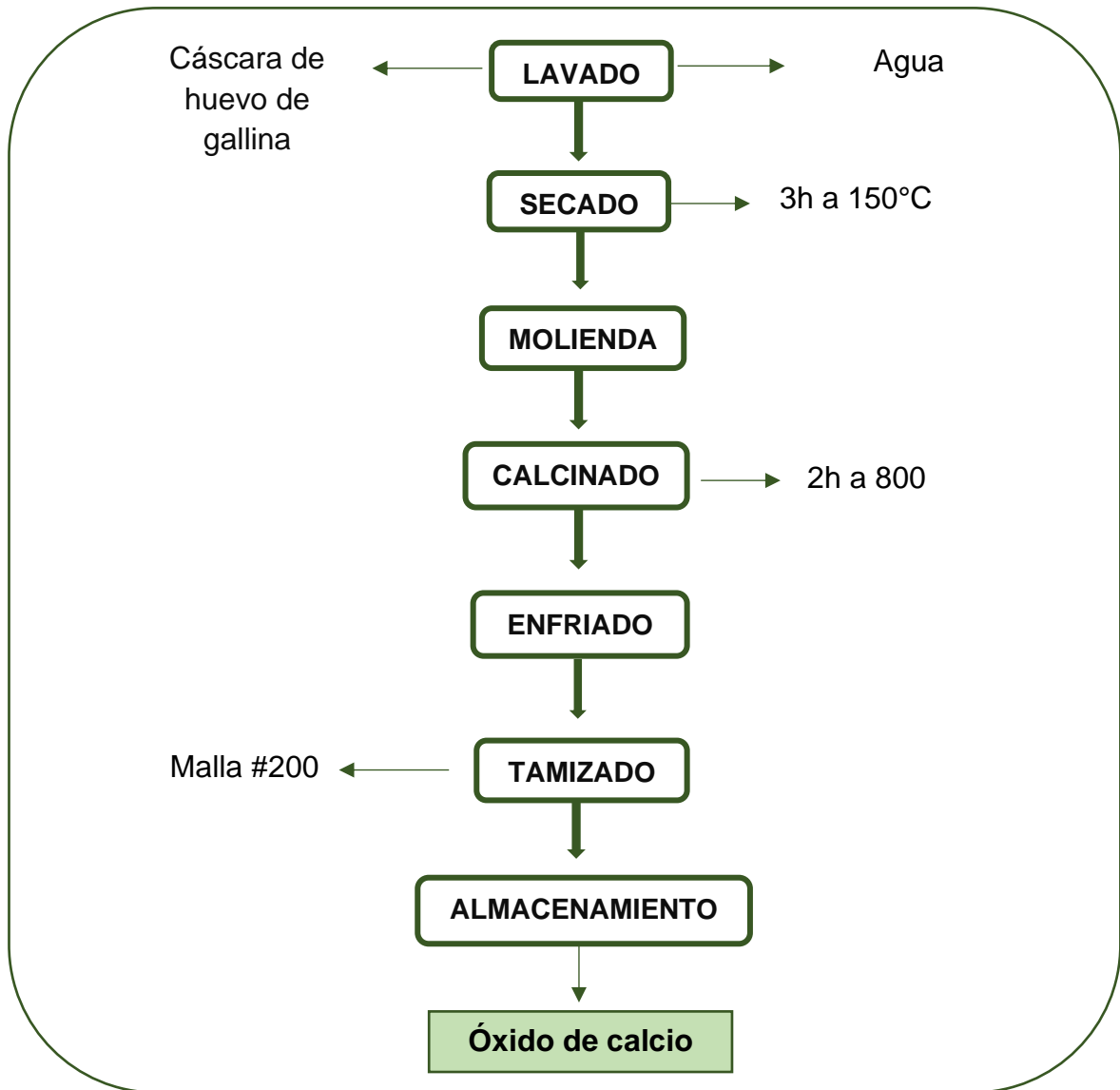


Figura 1. Diagrama de procedimiento para producir óxido de calcio utilizando cáscara de huevo de gallina.

Fuente: Elaboración propia

El proceso para la obtención de óxido de calcio a partir de la cáscara de huevo de gallina, requiere de los siguientes materiales y equipos:

- Guantes.
- Mascarilla.
- Guardapolvo.
- Agua destilada.
- Cofias descartables.
- Crisoles.
- Pinza de crisol.
- Lavatorio.
- Balanza analítica.
- Estufa.
- Mortero y pilón.
- Horno mufla.
- Desecador.
- Separador por tamices vibratorio.

Fórmula para determinar la masa del óxido de calcio:

$$\text{masa Ca} = M3 * \frac{M2}{M1} * \frac{n1}{n2}$$

Dónde:

*M3: masa de CaO*

*M2: masa molar de Ca*

*M1: masa molar de CaO*

*n2: moles de calcio*

*n1: moles de CaO*

Fórmula para determinar la pureza del óxido de calcio:

$$\%CaO = \frac{M2}{M1} * 100$$

Dónde:

$M_1$ : masa inicial de cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada (muestra inicial) en gramos.

$M_2$ : masa de  $Ca$  (sustancia pesada) en gramos.

Para la eliminación del cadmio detectado en las aguas del río Llaucano, se llevó a cabo el siguiente diseño.

**Tabla 2.** *Diseño “Antes y después con grupo de control” para determinar la eficiencia de remoción de cadmio utilizando cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.*

	Antes	Tratamiento	Después
Grupo experimental	$O_1$	X	$O_2$
Grupo de control	$O_3$	-	$O_4$

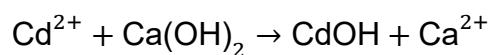
Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 8 pruebas a nivel de laboratorio para determinar la dosis óptima para la remoción de cadmio en el río Llaucano.

Dado que el enfoque del estudio es de carácter cuasi experimental, se llevaron a cabo las mediciones de concentración de cadmio tanto previas como posteriores a la aplicación del tratamiento.



Reacción química presente en el tratamiento:



Dónde:

$Cd^{2+}$ : Representa el catión del metal cadmio.

$Ca(OH)_2$ : Es el agente precipitante.

$CdOH$ : Es el hidróxido de cadmio, un compuesto poco soluble que se forma.

$Ca^{2+}$ : Es el catión de calcio.

Por último, se determinó la eficiencia de remoción de cadmio utilizando cáscara de huevo pulverizado.

$$Eficiencia = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Dónde:

$C_i$ : Concentración inicial.

$C_f$ : Concentración final.

El proceso de remoción requirió los siguientes materiales y equipos:

- Mascarillas.
- Guantes de nitrilo.
- Guardapolvo.
- Cofias descartables.
- 2 baldes.
- 1 pipeta.
- 1 embudo de vidrio.
- 20 papel de filtro Whatman.
- 2 probetas.
- 20 envases.
- Prueba de jarras.
- pH-metro.
- Bomba de membrana para vacío.
- Balanza analítica.
- Espectrofotómetro de absorción atómica.

Reactivos químicos.

- Nitrato de cadmio tetrahidratado.
- Ácido nítrico.

### 3.2. Variable y operacionalización

Las variables de estudio fueron: cáscara de huevo pulverizado como variable independiente y remoción de cadmio en aguas de río como variable dependiente, las dos son de enfoque cuantitativo.

**Variable independiente:** Cáscara de huevo pulverizado (bioadsorbente)

Definición conceptual: La cáscara de huevo, es considerado un residuo, tiene peculiaridades en su composición química como de estructura, presentando de 7000 a 70000 poros por cáscara de huevo, los cuales, encargados de la alta eficiencia de adsorción, además contiene un alto porcentaje (96.3%) de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ), que ayuda a neutralizar la acidez y color. (Mittal et al. 2016).

Definición operacional: Para poder utilizar la cáscara de huevo como material adsorbente de cadmio en las aguas del río Llaucano, se tuvo en cuenta el tamaño de partícula, la dosis y el tiempo de contacto.

Indicadores: los indicadores propuestos fueron, la granulometría, la dosis y el tiempo en minutos.

Escala de medición: Razón.

**Variable dependiente:** Remoción de cadmio en aguas de río.

Definición conceptual: Es la reducción y eliminación de cadmio en aguas residuales, proveniente de la minería e industrias. Se emplean técnicas físicas, químicas o biológicas como la filtración, precipitación química o adsorción. El objetivo es proteger la condición natural del agua y prevenir la contaminación ambiental. Tizo et al., (2018).

Definición Operacional: Para remover el cadmio del agua, los ensayos se realizaron mediante la prueba de jarras, lo primero que se tuvo en cuenta fue estandarizar el volumen y control de velocidades, para posteriormente agregar el adsorbente. Y luego mediante espectrofotometría se determinará la concentración de cadmio inicial y final.

Indicadores: Se obtuvo un indicador y es el porcentaje de la remoción de cadmio a pH inicial 5,27 y pH inicial 6,3.

Escala de medición: Razón.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población:**

Según López y Fachelli (2015), se señala que la población se refiere a un conjunto de individuos pertenecientes a la misma categoría. Esto implica la totalidad del fenómeno bajo estudio, en el cual los elementos de la población comparten características similares. Estas características son analizadas y proporcionan los datos necesarios para la investigación correspondiente (p.7).

La población del estudio está establecida por el agua de río Llaucano Bambamarca – Cajamarca.

#### **Muestra:**

Para determinar la remoción de cadmio se tomará 1 muestra integrada de agua del río Llaucano Bambamarca – Cajamarca.

#### **Muestreo:**

Se usó la técnica del muestreo no probabilístico por conveniencia; la razón detrás de esto es la accesibilidad y la proximidad con el investigador (Otzen & Manterola, 2017).

#### **Unidad de análisis:**

1 litro de agua para ser tratada con cáscara de huevo pulverizado.



### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la realización de una investigación sólida es de vital importancia el recojo y almacenamiento de información, y es ahí donde las técnicas e instrumentos sirven para enriquecer la búsqueda, procedimientos y tareas que permitan gestionar y analizar la información (Hernández y Duana, 2020, p. 51).

Mendoza y Ávila (2020), establece que el instrumento es un recurso crucial que se emplea para la recopilación de datos. Para ello se utilizó la observación experimental, fichas técnicas del laboratorio donde se registró los resultados obtenidos en cada ensayo de acuerdo a normas internacionales estandarizadas (*ASTM, AOAC, ISO y US EPA*).

### 3.5. Procedimientos

La investigación se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Recojo e integración de las muestras en campo (P1, P2, P3).
2. Determinación de cadmio en muestra integrada mediante absorción atómica. Llama - *EEA* con horno de grafito.
3. Recolección de cáscaras de huevos de gallina del mercado de abastos de Batangrande – Pitipo.
4. Lavado de la cáscara de huevo de gallina utilizando agua destilada.
5. El secado se realizó en una estufa a 150°C por un tiempo de 3 horas.
6. Para enfriar y evitar que las cáscaras de huevo ganen humedad, se utilizó un desecador con gel de sílice.
7. Pesado de las cáscaras de huevo de gallina utilizando balanza analítica.
8. Posteriormente, para la trituración de las cáscaras de huevo se utilizó un mortero con pilón.
9. El calcinado de la cáscara de huevo se realizó en una mufla de marca NABERTHERM a 800°C por 2 horas.
10. El tamizado se realizó en un separador por tamices vibratorio modelo RX – 29 – 16 *TAYLER U.S.A. Standar Test Sieve ASTM E-11* estándar N° 200 – 75 micras.

11. Se realizó un análisis gravimétrico por precipitación para determinar la pureza de óxido de calcio a partir de la cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada.
12. Luego de determinar la concentración de cadmio presente en las aguas del río Llaucano, se tuvo por conveniente trabajar con concentraciones mayores de cadmio para evaluar la eficiencia de las dosis de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado, debido a que la concentración encontrada en el río si bien está por encima de los ECA para agua categoría 3, es bastante reducida para determinar la eficiencia de las dosis del adsorbente.
13. Se contaminó por inducción propia 10 L de agua con 2,7 mg/L de cadmio.
14. Se procedió a pesar las dosis de cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada con 49.78% de pureza de óxido de calcio en una balanza analítica *OHAUS*.
15. Se realizó la primera corrida con 4 pruebas a pH inicial 5.27 en la prueba de jarras, con 2,7 mg/L de concentración inicial de cadmio, las dosis de adsorbente que se utilizaron fueron: 0.10 g, 0.125 g, 0.150 g y 0.175 g de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.
16. Se realizó una segunda corrida con 4 pruebas a pH inicial 6.3 en la prueba de jarras, con 2,7 mg/L de concentración inicial de cadmio, las dosis de adsorbente que se utilizaron fueron: 0.10 g, 0.125 g, 0.150 g y 0.175 g de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.
17. El proceso de agitación fue de 20 minutos, 120 rpm durante 5 minutos en mezcla rápida y 30 rpm durante 15 minutos en mezcla lenta, esto para las corridas de pH inicial 5,27 y pH inicial 6,3.
18. Durante el tratamiento se midió el pH de cada uno de las pruebas.
19. Se determinó el porcentaje de remoción y la dosis más óptima para remover el cadmio de las aguas del río Llaucano, utilizando la espectrofotometría de absorción atómica.
20. Una vez obtenido la dosis más óptima de remoción, mediante prueba de jarras, se realizó la remoción de cadmio del agua del río Llaucano.
21. Así mismo se utilizó el programa *IBM SPSS Statistics* y *Microsoft Excel* (T de *student*) para evidenciar los resultados mediante tablas y gráficos.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Los datos obtenidos se procesaron mediante *IBM SPSS Statistics* y hojas de cálculo Microsoft Excel, donde se muestran gráficos y representaciones basadas en los resultados de todas las pruebas realizadas, con la finalidad de determinar la eficiencia de las concentraciones, dimensiones y tiempo, para luego generar conclusiones en respuesta a los objetivos planteados.

### **3.7. Aspectos éticos**

La investigación se basa en los principios éticos que rige la profesión, se citan correctamente todos los datos obtenidos de artículos científicos, investigaciones, tesis y libros en la sección de referencias, manteniendo una postura de respeto y objetividad en el trabajo realizado, informando a las entidades gubernamentales adecuadas sobre las particularidades y el alcance de la investigación, además nos comprometemos a presentar los resultados auténticos del estudio, respaldados por la documentación y archivos que mostramos provenientes del laboratorio donde se analizará las muestras de agua y los cuadros que se han elaborado, todo lo anterior con total franqueza a fin de servir como guía para futuros estudiantes universitarios e investigadores en sus estudios sobre la problemática.

#### IV. RESULTADOS

Prueba de normalidad.

Previo a realizar la prueba T Student para muestras emparejadas, es crucial verificar si la variable analizada sigue una distribución normal.

Dado que el tamaño de la muestra es inferior a 50, es recomendable utilizar la prueba de Shapiro-Wilk.

Criterios para identificar si una distribución es normal.

Si el p-valor es  $\geq \alpha$ , los datos se originan de una distribución normal.

Si el p-valor es  $< \alpha$ , los datos no tienen origen en una distribución normal.

**Tabla 3.** Prueba de normalidad.

Pruebas de normalidad			
Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
Agua sin tratamiento	,390	9	,000
Agua con tratamiento	,897	9	,236

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

El p-valor en la prueba final es superior a  $\alpha$ .

$$P\text{-valor} = 0,236 > \alpha=0,05$$

Se infiere que los datos siguen una distribución normal.

4.1. Determinar la eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano utilizando cáscara de huevo de gallina pulverizado.

Ha: La cáscara de huevo de gallina pulverizado y calcinado a 800°C remueve más del 90% de cadmio de las aguas del río Llaucano.

Ho: La cáscara de huevo de gallina pulverizado y calcinado a 800°C no remueve más del 90% de cadmio de las aguas del río Llaucano.

**Tabla 4. Prueba de T de Student.**

Prueba de muestras emparejadas.

		95% de intervalo de confianza de la diferencia						
		Media	Desviación estándar	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Agua sin tratamiento & Agua con tratamiento	2,23472	,80339	1,61718	2,85226	8,345	8	<.001

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

Criterios de decisión:

Si el p-valor obtenido es  $< \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ).

Si el p-valor obtenido es  $\geq \alpha$ , se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) y se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

Resolución estadística.

Al realizar la prueba T Student se obtiene que P-valor = 0,000 y por lo tanto se puede afirmar que:

P-valor =  $<,001 < \alpha = 0,05$ .

La decisión es descartar la  $H_0$  y asumir como correcta la  $H_a$ , lo que significa que la cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado y calcinado a 800°C remueve más del 90% de cadmio de las aguas del río Llaucano.

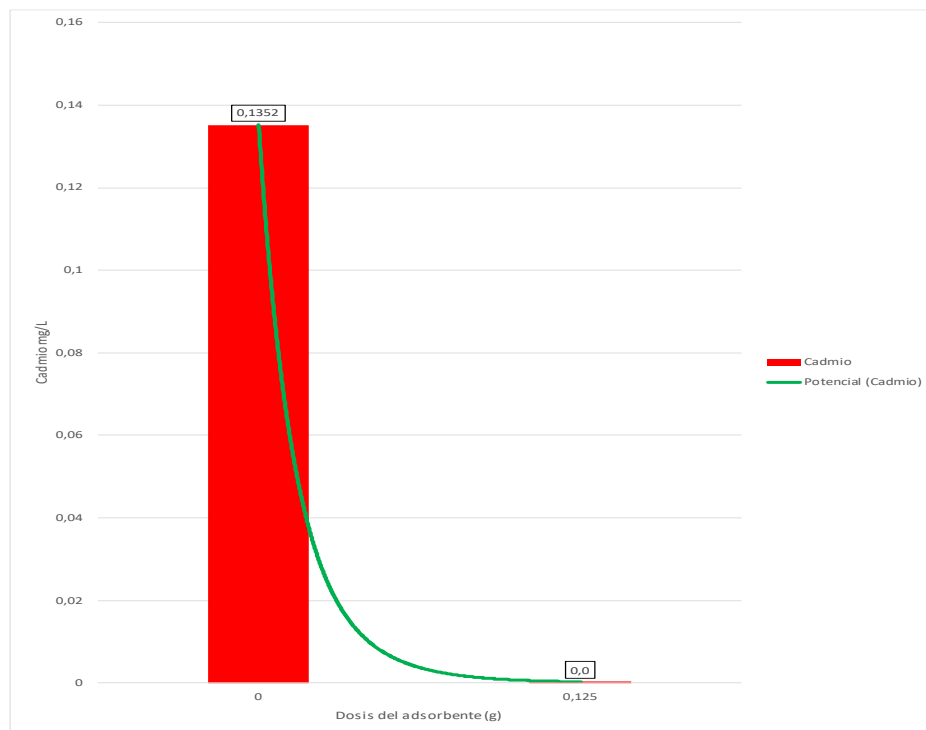
Eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano.

$$Eficiencia = \frac{C_i - C_f}{C_f} * 100 \rightarrow Eficiencia = \frac{0,1352 - 0}{0,1351} * 100 \rightarrow Eficiencia = 100\%$$

**Tabla 5. Remoción de cadmio presente en las aguas del río Llaucano.**

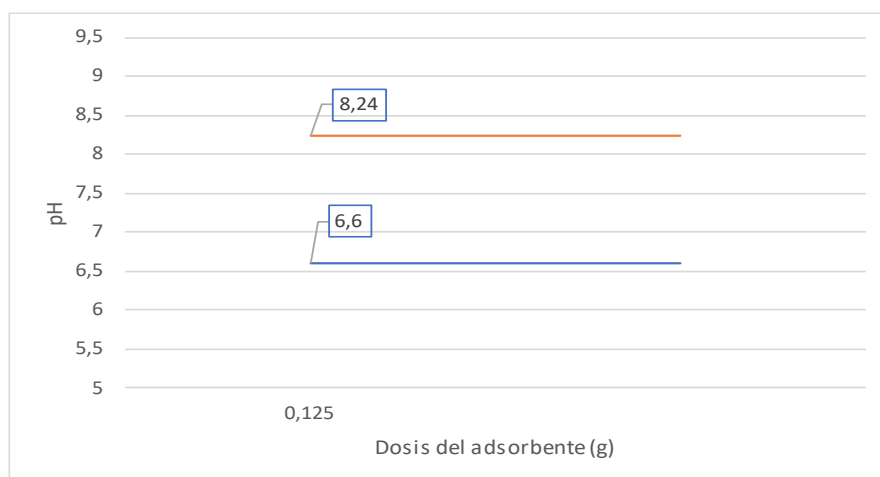
Ci de cadmio en el río Llaucano (mg/L)	Malla (µm)	Tiempo (min)	pH inicial	pH durante	Dosis de Ch (g)	Cd antes (mg/L)	Cd después (mg/L)	Cd removido (mg/L)	Cd removido (%)
0,1352	75	20	6,6	8,24	0,125	0,1352	0	0,1352	100 %

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2. Eficiencia de remoción de cadmio.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. Efecto en el pH.**

Fuente: Elaboración propia

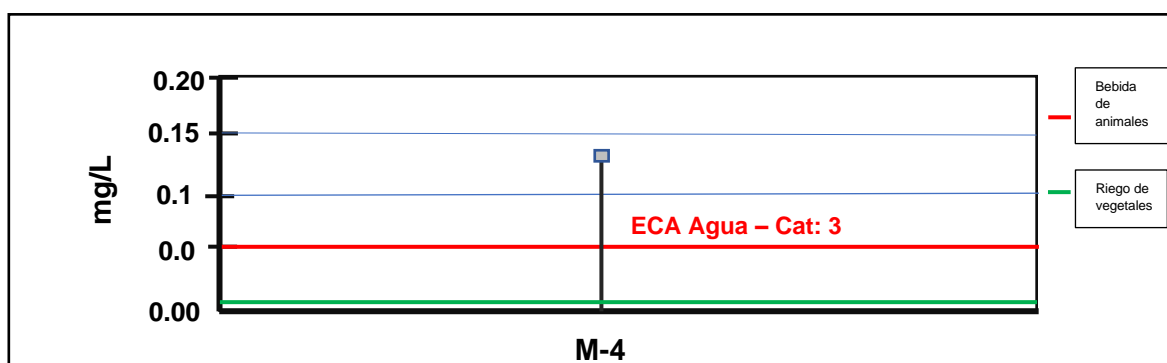
Interpretación: Se experimentó a nivel de laboratorio con el agua del río Llaucano con la dosis más óptima de cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada, con una concentración inicial de cadmio de 0,1352 mg/L. Una vez realizado el tratamiento, la prueba se sometió a análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica para conocer la concentración después del tratamiento, determinando que el tratamiento con dosis 0,125 g de cáscara de huevo calcinada, pH inicial 6,6 y pH 8,24 durante el tratamiento, logró una eficiencia de remoción del 100%.

4.2. Identificar la concentración inicial del cadmio presente en las aguas del río Llaucano.

**Tabla 6. Concentración de cadmio presente en el río Llaucano.**

N° Muestra	Cód. - muestra	Coordenadas		Hora	Parámetro	C.ECA	Resultado
		X	Y				
1	M-1	774188	9259484	4:27	Cadmio	C-III	
2	M-2	774152	9259299	4:27	Cadmio	C-III	
3	M-3	774811	9261607	4:27	Cadmio	C-III	
Muestra Integrada	Cód. - muestra	Coordenadas		Hora	Parámetro	C.ECA	Resultado
		X	Y				
4	M-4	774811	9261607	4:56	Cadmio	C-III	0.1352 mg/L

Fuente: Elaboración propia



*Figura 4. Concentración de cadmio en el río Llaucano.*

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se observó la cantidad de muestras tomadas del cauce del río Llaucano, así como la integración de las mismas, dando resultado a una única muestra, misma que fue conservada utilizando  $HNO_3$  al 65 %, alcanzando un pH

de 2 y trasladada para su posterior análisis mediante absorción atómica. Llama – EAA con Horno de Grafito, hallándose 0,1352 mg/L de cadmio, lo que indica que la concentración está por encima de los ECA para agua de categoría 3.

4.3. Determinar la pureza de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano.

Determinación de la masa de calcio.

Dónde:

*Masa del CaO: 0,06965 g*

*Masa molar de Ca: 40,08 g/mol*

*Masa molar de CaO: 56,08 g/mol*

$$Ca = 0,06965 \text{ g} * \frac{40,08^g/mol}{56,08^g/mol} = 0,04978 \text{ g}$$

Determinación de la pureza de óxido de calcio.

Dónde:

*Masa de Ca: 0,04978 g*

*Masa inicial de cáscara de huevo calcinada: 0,1 g*

$$\%CaO = \frac{0,04978}{0,1} * 100$$

$$\%CaO = 49,78$$

**Tabla 7.** *Pureza de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.*

Cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.		Análisis de pureza de <b>CaO</b>	
Peso total de cáscara de huevo sin calcinar (g)	Peso total de cáscara de huevo calcinada (g)	Muestra inicial de cáscara de huevo calcinada (g)	% de pureza
115	94.10	0,1	49.78

Fuente: Elaboración propia



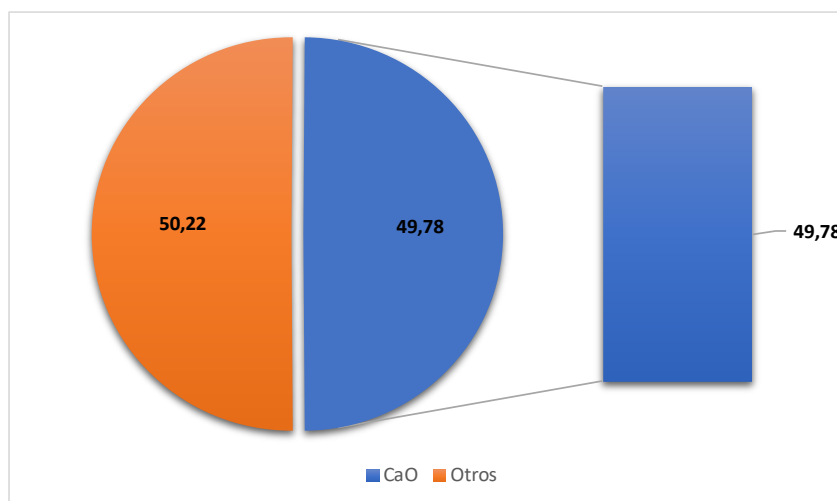


Figura 5. Pureza de óxido de calcio.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Los 115 g de cáscaras de huevo de gallina fueron calcinadas a 800°C por un tiempo de 2 horas en un horno mufla NABERTHERM. Posterior a la calcinación se realizó el pesado, obteniendo 94.10 g de cáscara de huevo calcinada (ver tabla 7); para determinar la pureza se realizó un análisis gravimétrico por precipitación, para lo cual se utilizó 0,1 g de cáscara de huevo calcinada, obteniendo un porcentaje de pureza de óxido de calcio de 49.78%.

4.4. Determinar la dosis óptima de cáscara de huevo de gallina pulverizado para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano.

**Tabla 8.** Dosis óptima para remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano a pH inicial 5,27 y pH inicial 6,3.

Tratamiento con cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado.									
Ci de cadmio en el río Llaucano (mg/L)	Malla (µm)	Tiempo (min)	pH inicial	pH durante	Dosis de Ch (g)	Cd antes (mg/L)	Cd después (mg/L)	Cd removido (mg/L)	Cd removido (%)
0,1352	75	20	5.27	7,56	0,1	2,7	0,33	2,37	87,8%
				7,663	0,125	2,7	0,03	2,67	98,9%
				8,22	0,15	2,7	0,46	2,24	83,0%
			6.3	9,578	0,175	2,7	0,11	2,59	95,9%
				8,04	0,1	2,7	0,25	2,45	90,7%
				8,158	0,125	2,7	0,01	2,69	99,6%
				8,47	0,15	2,7	0,34	2,36	87,4%
				9,421	0,175	2,7	0,09	2,61	96,7%

Fuente: Elaboración propia

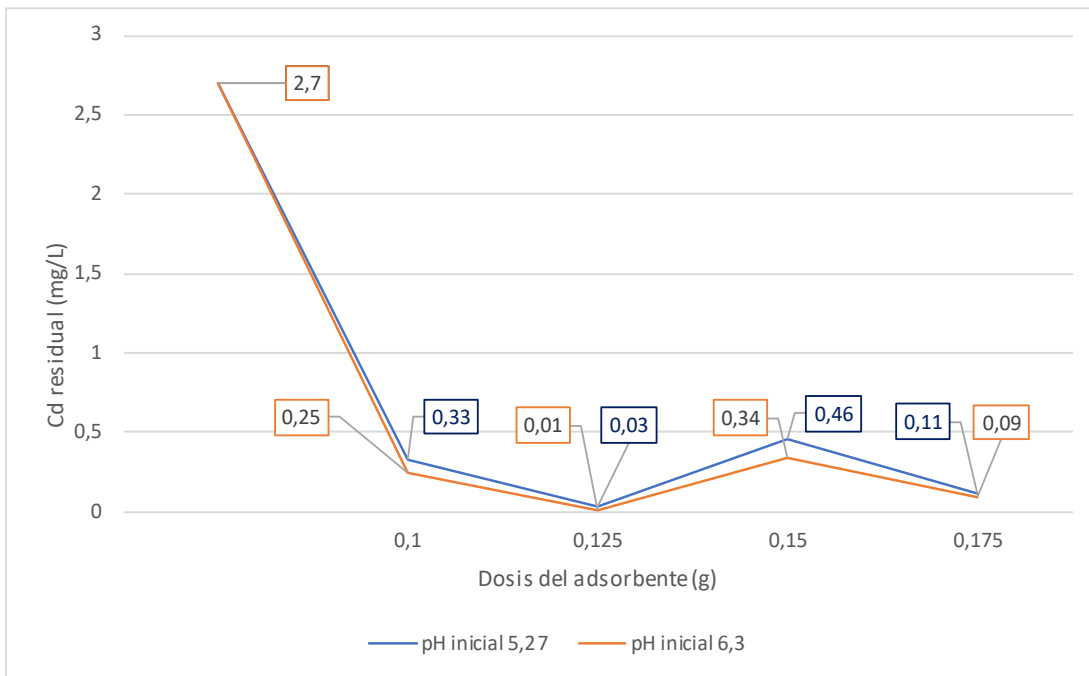


Figura 6. Remoción de cadmio.

Fuente: Elaboración propia

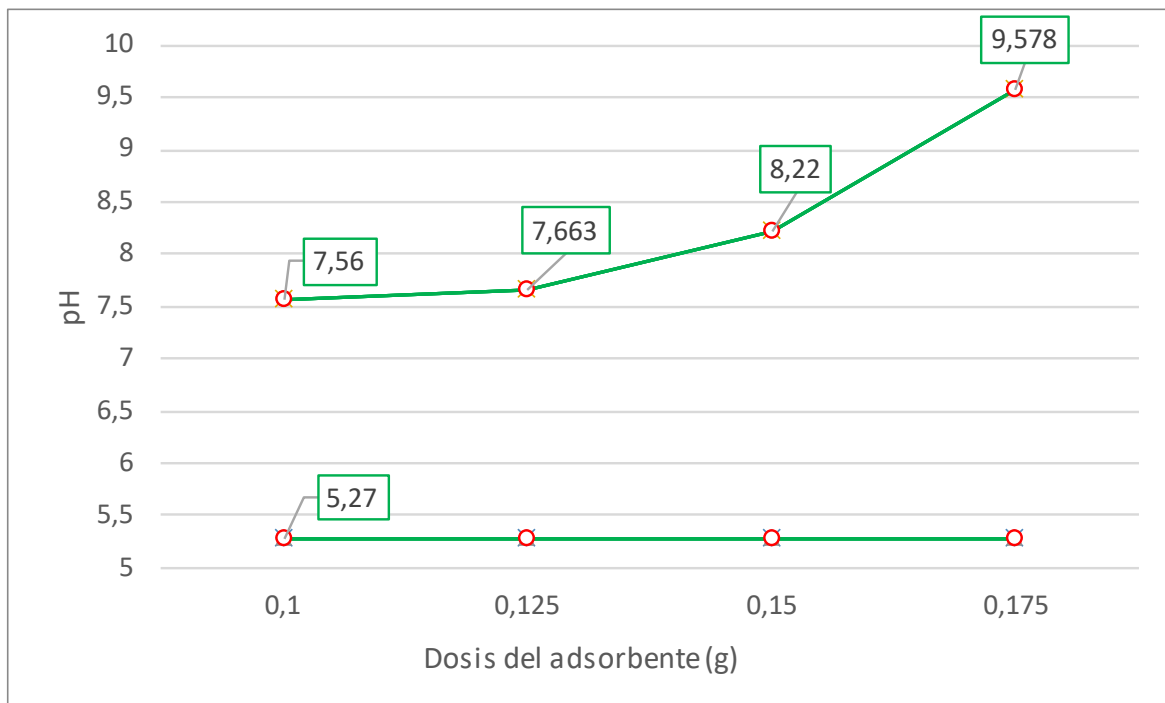


Figura 7. Efectos del tratamiento a pH inicial 5,27.

Fuente: Elaboración propia.

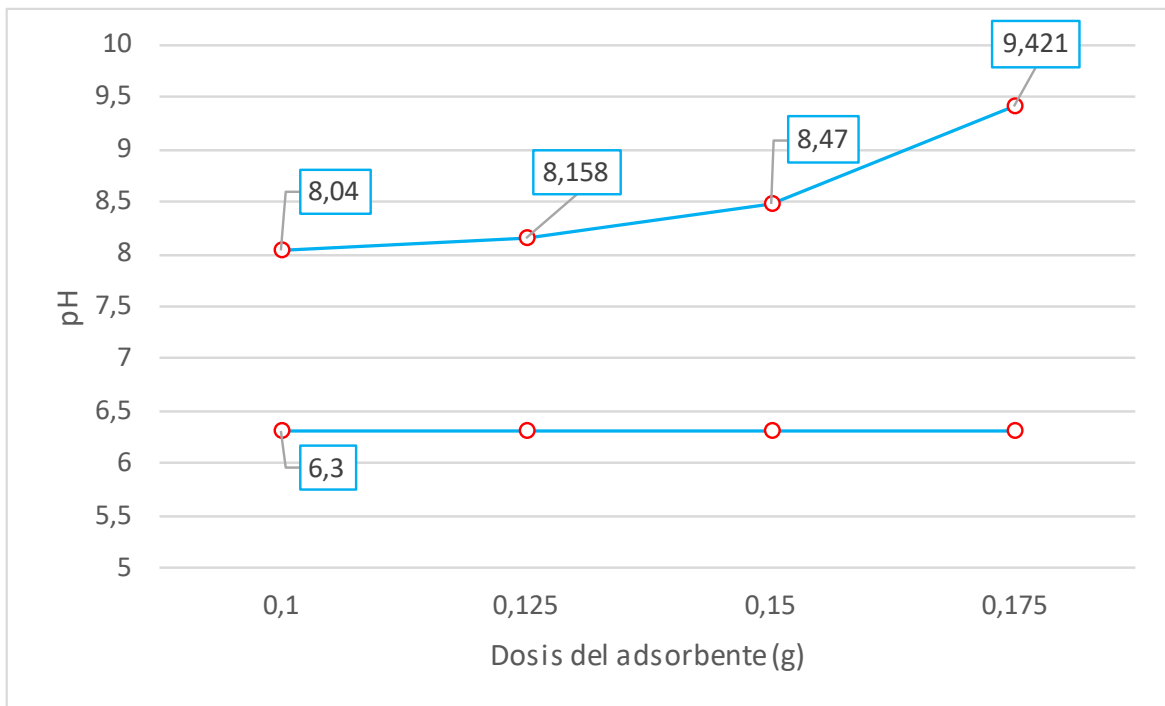


Figura 8. Efectos del tratamiento a pH inicial 6,3.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Se realizó un total de 8 pruebas a nivel de laboratorio, 4 primeras con un pH inicial de 5,27 y las 4 finales a pH inicial de 6,3 con sus respectivas dosis de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado, malla de cribado, tiempo de contacto y velocidad de agitación. Del tratamiento realizado mediante prueba de jarras se pudo determinar que la dosis que más removió en el tratamiento a pH inicial 5,27 fue 0,125 g, logrando un 98,9% de remoción y elevando el pH a 7,6 y para las pruebas a pH inicial 6.3, la dosis que más removió fue 0,125 g, logrando un 99,6% de remoción y elevando el pH a 8.15, lo que significa que la dosis más óptima es 0,125 g a pH 8,15 durante el tratamiento; la cual fue empleada para remover el cadmio de las aguas del río Llaucano.

4.5. Comparar la concentración de cadmio de las aguas del río Llaucano con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 antes y después del tratamiento.

**Tabla 9.** Comparación de las concentraciones de cadmio de las aguas del río Llaucano antes y después del tratamiento con los ECA para agua categoría 3.

ECA para agua categoría 3		Cd inicial (mg/L)	Cd residual (mg/L)
Riego de vegetales (mg/L)	Bebida de animales (mg/L)	0,1352	0,00
0,01	0,05		

Fuente: Elaboración propia

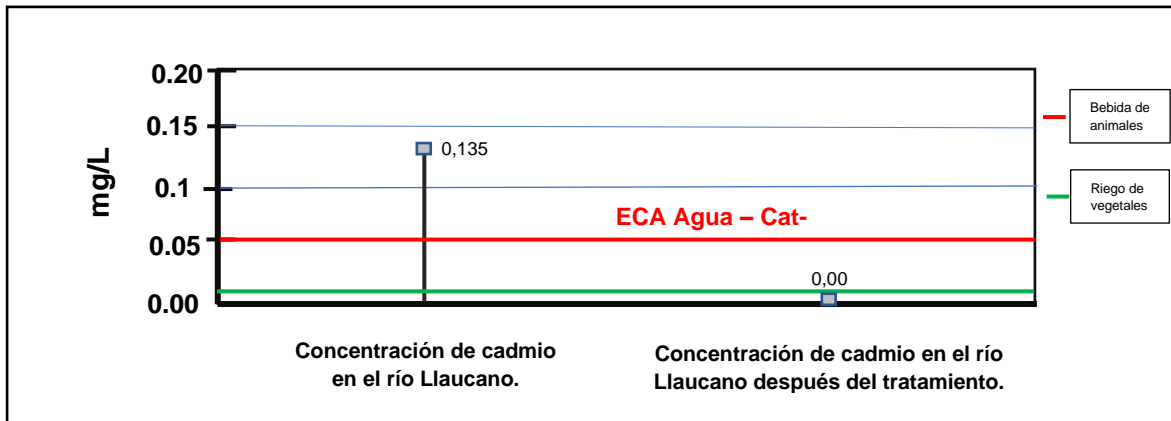


Figura 9. Concentración de cadmio antes y después del tratamiento.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: El tratamiento redujo la concentración de cadmio por debajo de los ECA categoría 3, para bebida de animales y riego de vegetales, bajando la concentración de 0,1352 mg/L a 0,0 mg/L de cadmio, con la dosis de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado (0,125 g) a pH 8,15 durante el tratamiento. Lo que permite determinar que después del tratamiento, el agua sería apta para bebida de animales y riego de vegetales.

## V. DISCUSIÓN

El estudio fue de tipo experimental de característica cuasi experimental, ya que permite manipular la variable independiente, para ver los efectos en la variable dependiente, utilizando diferentes dosis de adsorbente con la finalidad de determinar la dosis óptima para lograr la eficiencia de remoción de cadmio presente en las aguas del río Llaucano.

A partir de los resultados obtenidos mediante la experimentación correspondiente al objetivo general que es determinar la eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano utilizando cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado, se asume la hipótesis de estudio, confirmando que la cáscara de huevo pulverizado y calcinado a 800°C removi6 el 100% de cadmio de las aguas del río Llaucano con un pH inicial de 6,6 y pH durante el tratamiento de 8.24, encontrándose dentro el umbral establecido en los ECA para agua categoría 3.

Además, los resultados obtenidos se sustentan con lo que determin6 Park et al (2007) en su investigación sobre remoción de cadmio utilizando cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada, logr6 una remoción del 100% en 10 minutos, que representa la totalidad de la concentración de cadmio inicial (3 mg/L), resaltando que la cáscara de huevo calcinada es eficiente para la remoción de cadmio en medios acu6s, por lo que se insta a considerar las cáscaras de huevo dentro de la cadena productiva y no como un desecho com6n.

Sin embargo, tambi6n se encontr6 algunas diferencias con los autores, tal es el caso de Tizo et al (2018) que, en su investigación, no fue necesario calcinar la cáscara de huevo de gallina para poder remover cadmio, ya que considero trabajar con la cáscara de huevo de gallina 6nicamente triturado, logrando una remoción de 73%, en un tiempo de 75 minutos, dosis 0,75 g, pH 6 y temperatura ambiente.

En consecuencia, al objetivo que se suscita de la siguiente manera, identificar la concentración inicial del cadmio presente en las aguas del río Llaucano, donde se determin6 una concentración (0.1352 mg/L de Cd) que excede los límites establecidos en el ECA para agua categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Los resultados hallados son respaldados por DIGESA (2011) durante la evaluación de la calidad sanitaria de las aguas del río Llaucano y tributarios principales, donde se determinó una concentración de 0.10 mg/L de cadmio, además el ANA en el año 2015, durante el tercer monitoreo de la calidad de cuerpos naturales de agua superficial de la cuenca del río Llaucano, determinó que la concentración de Cd (0.26337 mg/L) excede los límites establecidos en el ECA para agua categoría 3 en uno de los efluentes del río Llaucano, denominado río Tingo-Maygasbamba.

Sin embargo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA en su informe de monitoreo de calidad de agua en la cuenca alta del río Llaucano y efluentes ubicados en los distritos de Hualgalloc y Bambamarca, departamento Cajamarca realizado en mayo del 2015, determinaron que las concentraciones de cadmio (Cd 0.05 mg/L) no fueron las únicas que superaron los estándares de calidad ambiental para agua categoría 3, sino que las concentraciones de Arsénico (As 0.2 mg/L) superaron estos estándares en 8 puntos de monitoreo.

Con respecto al objetivo que consiste en determinar la pureza de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina, para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano, se logró obtener un 49,78% de pureza de óxido de calcio de un total de 94.10 g de cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada, siendo la calcinación previa un factor que influye en el resultado.

De manera similar, Delgado y Alvarado (2023) en su artículo de investigación sobre determinación gravimétrica de óxido de calcio a partir de cáscara de huevo de gallina, obtuvieron un 35,66% de pureza de óxido de calcio, de un valor teórico esperado de 38,4%.

Sin embargo, Park et al (2007), en su investigación sobre remoción de cadmio y plomo usando cáscara de huevo de gallina natural y calcinada, llevo a cabo un análisis termogravimétrico para determinar la pureza del óxido de calcio obtenido a partir de cáscara de huevo, obteniendo un 99% de pureza.

Con respecto al objetivo que consiste en determinar la dosis óptima de cáscara de huevo de gallina que ha sido pulverizado para remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano, mediante prueba de jarras se logró determinar que la dosis (0,125

g con 49,78% de pureza de CaO) a pH 8.15 durante el tratamiento, tiempo de contacto 20 minutos, granulometría (malla 200) 75  $\mu\text{m}$  y temperatura ambiente, presentó una mayor cantidad de remoción, removiendo 2,69 mg/L de cadmio de una concentración inicial de 2,7 mg/L, alcanzando más de 99% de remoción.

Según Park et al (2007) en su investigación sobre remoción de cadmio en aguas, logró remover el 100% de la concentración con una dosis de 0,06 g de óxido de calcio a partir de la cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada (99,6% de pureza), a pH 6, tiempo de contacto 10 minutos, granulometría (malla 100) y temperatura ambiente, logrando remover la totalidad de cadmio (3 mg/L).

Sin embargo, Tizo et al (2018) en su investigación sobre utilización de cáscara de huevo de gallina como adsorbente para eliminar cadmio de soluciones acuosas, lograron eliminar el cadmio hasta en 73%, con una dosis de 0,75 g de adsorbente, pH 6, tiempo de contacto de 75 minutos, granulometría (malla 120) y temperatura ambiente.

Después de discutir sobre las dosis óptimas para remoción de cadmio, se puede decir que, la remoción de cadmio utilizando cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada depende de diversos factores, entre ellos la pureza del óxido de calcio, el pH, la granulometría, el tiempo de contacto y la temperatura.

Con respecto al objetivo que consiste en comparar la concentración de cadmio de las aguas del río Llaucano con los ECA para agua categoría 3 antes y después del tratamiento, logrando una remoción de la totalidad de cadmio (0,1352 mg/L) por debajo los límites ECA tanto para riego de vegetales (0,01 mg/L) y bebida de animales (0,05 mg/L), usando para esto una dosis óptima de 0,125 g de adsorbente (cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada).

Según D.S. N° 004-2017-MINAM, se establece límites de concentración tanto para elementos, parámetros, entre otros, que puedan encontrarse en los cuerpos de agua, estableciendo para ello 4 categorías, dentro de las cuales se encuentra contemplado la categoría 3, que establece niveles de concentración para elementos y parámetros como el cadmio tanto para riego de vegetales y bebida de animales, estableciendo concentraciones de 0,01 mg/L y 0,05 mg/L respectivamente.

Sevillano (2018), en su investigación también comparó sus parámetros con los estándares de calidad ambiental para agua, en la categoría 1 que corresponde a uso poblacional y recreacional, donde comparo la concentración inicial de los parámetros con los ECA antes y después de su tratamiento, logrando reducir las concentraciones por debajo del umbral establecido en los ECA para agua, utilizando óxido de calcio a partir de cáscara de huevo calcinada.



## VI. CONCLUSIONES

- 1) Mediante la prueba de normalidad y T de student, se adoptó la hipótesis de investigación con un nivel de significancia inferior a 0,05, lo que lleva al rechazo de la  $H_0$  y la aceptación de la  $H_a$ , concluyendo que existe remoción de cadmio en las aguas del río Llaucano y que a través de tratamientos y dosis óptima a partir de la cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada se logra una mejor eficiencia de remoción en las aguas del río.
- 2) Se concluyó que existe contaminación del agua superficial del río Llaucano, por metales pesados; hallándose una concentración de 0,1352 mg/L de cadmio mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica, usando un espectrofotómetro de absorción atómica Llama, lo cual demuestra que las actividades económicas desarrolladas aguas arriba impactan de manera considerable en la calidad de las aguas de este cuerpo lotico excediendo lo establecido en el ECA para aguas categoría 3.
- 3) Se concluyó que la cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada posee una pureza de 49.78% de óxido de calcio, el cual se determinó mediante análisis de gravimetría por precipitación, siendo eficiente como adsorbente para remover metales pesados (cadmio) en medios acuosos.
- 4) Se concluyó que la dosis óptima para la remoción de cadmio ( $Cd^{2+}$ ) es de 0.125 g, utilizando exclusivamente una malla N° 200 elaborada a partir de la cáscara de huevo de gallina. Esta configuración logró reducir más del 99,6% de la concentración de cadmio en el agua, demostrando ser altamente eficaz para este propósito específico, removiendo 2,69 mg/L de cadmio, de una concentración inicial de 2,7 mg/L.
- 5) La cáscara de huevo de gallina que ha sido calcinada, es altamente eficaz para remoción de metales pesados, ya que logro remover el cadmio de las aguas del río Llaucano (0,1352 mg/L), por debajo del umbral establecido por los ECA para agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales.

## VII. RECOMENDACIONES

- 1) Se sugiere ampliar el uso de este método a distintos tipos de contaminantes, incluyendo el ablandamiento del agua y otros casos similares.
- 2) Se propone realizar estudios utilizando diversos métodos para analizar la composición de las cáscaras de huevo de gallinas y otras especies avícolas.
- 3) Se sugiere investigar la posibilidad de reutilizar o reciclar el adsorbente de cáscara de huevo de gallina después de su uso, para reducir el impacto ambiental y el costo de disposición final.
- 4) Se sugiere realizar pruebas exhaustivas que incluyan una gama variada de cáscaras de huevo, como las provenientes de patos, pavos, codornices y otras especies, con el fin de analizar y comparar su efecto en el tratamiento tanto de aguas residuales como de relaves mineros y otros.
- 5) Se recomienda implementar un procedimiento de activación química en la cáscara de huevo de gallina y posteriormente comparar su eficacia de remoción con la cáscara de huevo de gallina en su estado natural, sin alteraciones.
- 6) Se sugiere emplear cáscaras de huevo de gallina hayan sido calcinadas en el tratamiento de aguas que presenten variadas concentraciones de parámetros definidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, como plomo (Pb), arsénico (As), cobre (Cu), hidrocarburos totales de petróleo, entre otros.

## REFERENCIAS

Alok Mittal, Meenu Teotia, RK Soni, Jyoti Mittal (2016). Applications of Egg Shell and Egg Shell Membrane as Adsorbents: A Review, Journal of Molecular Liquids, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.065>

Álvarez (2020) *Clasificación de las Investigaciones* – Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas – Carrera de Negocios Internacionales – Universidad de Lima disponible en: <https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Acad%C3%A9mica%20%2818.04.2021%29%20-%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

ANA (2021). *Cajamarca: Monitorean calidad de agua de cuenca del río Llaucano*. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/514268-cajamarca-monitorean-calidad-de-agua-de-cuenca-del-rio-llaucano>.

Arias (2020). *Plantear y formular un problema de investigación: un ejercicio de razonamiento*. Revista Lasallista de Investigación. vol. 17, no. 1, pp. 301-313. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492020000100301&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492020000100301&script=sci_abstract&tlng=es).

Arias y Covinos (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Concytec.gob.pe. Disponible en: <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>.

Baidu.com. Disponible en: <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1f4g0mx07g5g0rq0kw0q0rf0e2556905#:~:text=The%20present%20work%20investigated%20the%20potential%20of%20eggshell,soluble%20microbial%20products%20%28e.g.%2C%20proteins%29%20from%20aqueous%20solution>.

Bedoya SA, Valencia GM. 2020. *Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (Gallus domesticus): una revisión sistemática*. Unisucre.edu.co Disponible en: <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/e776/911>.

Bolaños, Capa y Cumbal (2021). *Retention of heavy metals from mine tailings using Technosols prepared with native soils and nanoparticles*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021017345>.

Castillo, R.S. y Ródenas, J.B., 2018. *Análisis de las alternaciones de la cáscara del huevo de gallina*. Nereis. *Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation*. Disponible en: <https://revistas.ucv.es/nereis/index.php/Nereis/article/view/388>.

Castro et al (2018). *Biodiesel production from cotton oil using heterogeneous CaO catalysts from eggshells prepared at different calcination temperatures*. Brazil. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328318346\\_Biodiesel\\_production\\_from\\_cotton\\_oil\\_using\\_heterogeneous\\_CaO\\_catalysts\\_from\\_eggshells\\_prepared\\_at\\_diferent\\_calcination\\_temperatures](https://www.researchgate.net/publication/328318346_Biodiesel_production_from_cotton_oil_using_heterogeneous_CaO_catalysts_from_eggshells_prepared_at_diferent_calcination_temperatures)

CEUPE (2019). *¿Qué es la precipitación química?* Ceupe. Disponible en: <https://usa.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>.

Chen, G., Tsou, C.-H., Chin-San, W., Wei-Song, H., de Guzman, M.R., Ro-Yao, W., Jian, C., Neng, W., Yu-Jun, P. y Maw-Cherng, S., *Rendering polypropylene biocomposites antibacterial through modification with oyster shell powder*. Polymer. Disponible en: <https://www.researcher-app.com/paper/1716884>.

Conti, A. Huerta, B y Salvático, P. 2019. *Producción de fibra textil a partir de cáscaras de cítricos*. Universidad tecnológica nacional facultad regional villa maría. Disponible en: <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/4272>.

Correa (2018). *Comparación de la eficiencia de la cáscara de huevo de codorniz (Coturnix coturnix) y de la gallina (Gallus coturnos domesticus) para la reducción de cobre (Cu+2) y Plomo (Pb+2) en aguas contaminadas a nivel de laboratorio*. Para la obtención de título de Ingeniero ambiental en la Universidad Cesar Vallejo – Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96959>.

Cossio y León (2021). Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021. Para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Cesar Vallejo. Lima – Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84347>.

De la Cruz y Quiroz (2020). *Revisión sistemática y meta-análisis sobre la eficiencia de cáscaras naturales en la remoción de Pb, Cd, Cu y Cr en aguas contaminadas*. Para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Cesar Vallejo. Lima – Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63723>.

Delgado y Alvarado (2023). *Determinación gravimétrica de calcio en forma de óxido de calcio en cáscaras de huevo*. Universidad Industrial de Santander. Disponible en: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-industrial-de-santander/analisis-quimico-i/informe-3-determinacion-gravimetrica-de-calcio-en-forma-de-oxido-de-calcio-en-cascaras-de-huevo/65913782?origin=organic-success-document-viewer-cta>.

DIGESA (2022). *Día Mundial del Agua: Garantizamos agua segura para consumo humano que no representa riesgos en la salud pública* | DIGESA. Minsa.gob.pe. Disponible en: <http://www.digesa.minsa.gob.pe/noticias/marzo2022/nota33.asp>.

Digesa (2023). *ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA. Grupo N° 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES*. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%203.pdf)

EPA (2015). *Términos M* | US EPA. US. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-m>.

FACSA (2017) *Metales pesados* - Facsa. Disponible en: <https://www.facsa.com/metales-pesados/>.

García (2020). Contaminación por metales pesados en el agua. *ecologiaverde.com*. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>.

Godoy (2022). ¡Descubre las mejores técnicas de investigación para tu proyecto! *Tesis y Másters Colombia*. Disponible en: <https://tesisymasters.com.co/tecnicas-de-investigacion/>.

Hernández y Duana (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. México. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019/7678>.

Jones, Musgrove, Anderson, K.E. y Thesmar, H.S (2010). *Physical quality and composition of retail Shell eggs. Poultry*. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003257911939011X>.

Makuchowska (2019). *Use of The Eggshells in Removing Heavy Metals from Waste Water - The Process Kinetics and Efficiency*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332459426\\_Use\\_of\\_The\\_Eggshells\\_in\\_Removing\\_Heavy\\_Metals\\_from\\_Waste\\_Water\\_-\\_The\\_Process\\_Kinetics\\_and\\_Efficiency](https://www.researchgate.net/publication/332459426_Use_of_The_Eggshells_in_Removing_Heavy_Metals_from_Waste_Water_-_The_Process_Kinetics_and_Efficiency).

Marmadillo, V y Taboada (2019). *Evaluación de la adsorción de cobre (II) con cáscara de huevo de las aguas de relave minero*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP\\_f4bdefc49968557104b71889fe276d05](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_f4bdefc49968557104b71889fe276d05).

Martínez (2021). *La contaminación del agua en la minería* | Observatorio Económico Latinoamericano OBELA. Disponible en: <http://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria>.

Mesias (2019). *Aplicación de cáscara de huevo calcinada para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas*. Para optar bachiller de Ingeniería Ambiental en la Universidad Peruana Unión. Lima – Perú. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2449>.

MINAM (2017) *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. Disponible en:

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>.

Minería Sostenible (2022). *El 45% de economía mundial impulsada por el sector minero. Minería Sostenible de Galicia*. Disponible en: <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/>.

MINSA (2011) *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Lima-Perú. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf).

MINSA (2015) *Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio*. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3244.pdf>.

MINSA (2016). *Minimización de riesgos para la salud por metales pesados en el agua de consumo humano*. Lima – Perú. Disponible en: <https://www.paho.org/es/file/57053/download?token=P3T-eySz>.

MINSA (2018). «Programa de entrenamiento en salud pública dirigido a personal del servicio militar voluntario» unidad temática 3: vigilancia y control de la calidad del agua. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4516.pdf>.

Nations, U., (2019). *Agua* | Naciones Unidas. United Nations. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Olivares, García, García, Hernández y Delgado, (2021). *Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo*. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/aactm/article/view/7578>.

Otra Mirada (2015). *Informe de la ANA revela contaminación por metales pesados en la cuenca del Llaucano, en Bambamarca*. Disponible en: <https://otramirada.pe/informe-de-la-ana-revela-contaminaci%C3%B3n-por-metales-pesados-en-la-cuenca-del-llaucano-en-bambamarca>.

Revathy Sankaran, Pau Loke Show, Chien-Wei Ooi, Tau Chuan Ling, Yu-Kaung Chang. *Feasibility assessment of removal of heavy metals and soluble microbial products from aqueous solutions using eggshell wastes* - 百度学术.

Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/338374406\\_Feasibility\\_assessment\\_of\\_removal\\_of\\_heavy\\_metals\\_and\\_soluble\\_microbial\\_products\\_from\\_aqueous\\_solutions\\_using\\_eggshell\\_wastes](https://www.researchgate.net/publication/338374406_Feasibility_assessment_of_removal_of_heavy_metals_and_soluble_microbial_products_from_aqueous_solutions_using_eggshell_wastes)

Reyes, Vergara, Torres, Días y Gonzales (2016). *Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Uptc.edu.co

Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/5447/4518](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447/4518)

Rodríguez (2021). *Empleo de la cáscara de huevo como adsorbente para la eliminación de contaminantes emergentes y refractarios en aguas residuales*. Master Universitario en biotecnología alimentaria. Universidad de Oviedo – Perú.

Disponible en: [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/60197/TFM\\_CarolinaRodriguezFernandez.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/60197/TFM_CarolinaRodriguezFernandez.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

SEIA (2021). *Anuario Estadístico. Producción ganadera y avícola 2021*. Disponible

en: [https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/anuarios/pecuaria/pecuaria\\_2021.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/pecuaria/pecuaria_2021.pdf).

Sevillano (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*. Para optar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Cesar Vallejo. Lima – Perú.

Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/36242>.

Timosthe, Arias, Bessy, Rodríguez (2022). *Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. Revisión. Tecnología Química*.

Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-)



[61852022000100094#:~:text=Es%20un%20m%C3%A9todo%20econ%C3%B3mico%20y,puede%20ser%20activada%20o%20no.&text=Esta%20tecnolog%C3%A Da%20utiliza%20residuos%20org%C3%A1nicos,mecanismo%20de%20adsorci%C3%B3n%20y%20rendimiento.](#)

Tizo M.S., Blanco L.A.V., Cagas A.C.Q., De la Cruz B.R.B., Encoy J.C., Gunting J.V., Arazo R.O., Mabayo V.I.F. *Efficiency of calcium carbonate from eggshells as an adsorbent for cadmium removal in aqueous solution*. Scopus.com. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056361779&doi=10.1016%2fj.serj.2018.09.002&origin=inward&txGid=9d5a43123e4271afd09a2c034d7d96e1>.

UNESCO (2017). *¿Son las aguas residuales el nuevo «oro negro»?* UNESCO. Disponible en: <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>.

United Nations (2019). *Water* | United Nations. Disponible en: <https://www.un.org/en/global-issues/water>.

Wei T., Yashir N., An F., Imtiaz S.A., Li X., Li H. *Study on the performance of carbonate-mineralized bacteria combined with eggshell for immobilizing Pb and Cd in water and soil*. Scopus.com. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85112290741&doi=10.1007%2fs11356-021-15138-0&origin=inward&txGid=73bb0761c771d347dacbdf223f2849a2>.

Wenjing, Shuming y Guoyou (2016). *Recent studies on eggshell as adsorption material* | Signed in. Scopus.com. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84994506080&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Progress+of+eggshell+research+as+an+adsorbent+material&nlo=&nlr=&nls=&sid=68be0fc3e4f0d334e52b27811d6ce52a&sot=b&sdt=cl&cluster=scopusbyr%2c%222016%22%2ct&sl=59&s=ALL%28Progress+of+eggshell+research+a s+an+adsorbent+material%29&relpos=16&citeCnt=9&searchTerm=>.

Zeinalzadeh y Rezaei (2017). *Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis*. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 13, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.002>

## ANEXOS

### Anexo 1: Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de niveles de medición
<b>Cáscara de huevo pulverizado</b>	La cáscara de huevo de gallina, es considerado un residuo, tiene peculiaridades en su composición química como de estructura, presentando de 7000 a 17000 poros por cáscara de huevo, los cuales, encargados de la alta eficiencia de adsorción, además contiene un alto porcentaje (96.3%) de carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ), que ayuda a corregir el pH, color y neutralizar la acidez. (Mittal et al. 2016).	Para poder utilizar la cáscara de huevo de gallina como material adsorbente de cadmio en las aguas del río Llaucano, se tuvo en cuenta el tamaño de partícula, la dosis y el tiempo de adsorción.		Granulometría (# 200)	Razón
				Dosis (0,10 – 0,125 - 1,50 - 0,175 g)	Razón
				Tiempo (20). Min	Razón
<b>Remoción de cadmio del agua.</b>	Es la reducción y eliminación de cadmio en aguas residuales, proveniente de la minería e industrias. Se emplean técnicas físicas, químicas o biológicas como la filtración, precipitación química o adsorción. El objetivo es proteger la calidad del agua y prevenir la contaminación ambiental. Tizo et al., (2018).	Para remover el cadmio del agua, los ensayos se realizaron mediante la prueba de jarras, lo primero que se tuvo en cuenta fue estandarizar el volumen y control de velocidades, para posteriormente agregar el adsorbente. Y luego mediante espectrofotometría se determinará la concentración de cadmio inicial y final.		Porcentaje de remoción de cadmio a pH inicial 5,27	Razón
				Porcentaje de remoción de cadmio a pH inicial 6,3	Razón

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos.**

**LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.**

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: YOMIRA YAJAIRA SOTO
	JHELMER JESUS ALTAMIRANO TARRILLO
MUESTRA	: AGUA
FECHA DE INGRESO	: 28 DE SETIEMBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	CADMIO(Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M-3	0.1352	mg/L	0.003

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.  
\*ND: No detectable, fuera del rango*

**TRUJILLO, 02 DE OCTUBRE DEL 2023**



**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL**

**CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com**

Escaneado con CamScanner

Informe de análisis de muestra integrada mediante absorción atómica. Llama - EEA con horno de grafito.



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



REPORTE DE ANÁLISIS N° 64 – 2023 – FIQIA

1. NOMBRE : Altamirano Tarrillo Jhelmer Jesús  
Soto Corra Yomira Yajaira
2. PROYECTO DE TESIS : Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano  
aplicando cáscara de huevo pulverizado.

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 01
- Cantidad : 100 gramos
- Fecha de monitoreo : 10/10/2023
- Muestra : cáscara de huevo calcinada.

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

MUESTRA	ÓXIDO DE CALCIO	UNIDADES
M1	49.78	%

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad. El análisis Se realizó gravimétricamente por precipitación.

Firma		Firma	
Analista	Ing. Cristian David Visconde Beltrán INGENIERO QUÍMICO	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis		12 de Octubre del 2023	



Reporte de análisis gravimétrico por precipitación para determinar porcentaje de CaO a partir de cáscara de huevo calcinada.



REPORTE DE ANÁLISIS N° 064 – 2023

1. NOMBRE : Altamirano Tarrillo Jhelmer Jesús  
Soto Corra Yomira Yajaira
2. PROYECTO DE TESIS : Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano  
aplicando cáscara de huevo pulverizado

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 09
- Fecha de monitoreo : 06-10-2023
- Muestra : Agua tratada.

2. RESULTADOS

CODIFICACIÓN	PARÁMETRO	RESULTADO		UNIDADES	EQUIPO
		Inicio	Durante		
M1 A	Potencial de hidrogeno	5.27	7.56	Unidad de pH	pHmetro HANNA HI5222- 02.
M2 A	Potencial de hidrogeno	5.27	7.663	Unidad de pH	
M3 A	Potencial de hidrogeno	5.27	8.22	Unidad de pH	
M4 A	Potencial de hidrogeno	5.27	9.578	Unidad de pH	
M5 B	Potencial de hidrogeno	6.3	8.04	Unidad de pH	
M6 B	Potencial de hidrogeno	6.3	8.158	Unidad de pH	
M7 B	Potencial de hidrogeno	6.3	8.47	Unidad de pH	
M8 B	Potencial de hidrogeno	6.3	9.421	Unidad de pH	
M9 agua de río	Potencial de hidrogeno	6,6	8,24	Unidad de pH	

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad. El análisis se realizó con pHmetro HANN

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 16661280 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 24/11/2023 10:23:39-0500



REPORTE DE ANÁLISIS N° 066 – 2023

1. NOMBRE : Altamirano Tarrillo Jhelmer Jesús  
Soto Corra Yomira Yajaira
2. PROYECTO DE TESIS : Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano  
aplicando cáscara de huevo pulverizado

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 08
- Fecha de monitoreo : 06-10-2023
- Muestra : Agua tratada.

2. RESULTADOS

CODIFICACIÓN	DOSIS	CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
Cd A	0.0	2.7	mg/L	0.003
M1 A	0.10	0.33	mg/L	0.003
M2 A	0.125	0.03	mg/L	0.003
M3 A	0.150	0.46	mg/L	0.003
M4 A	0.175	0.11	mg/L	0.003

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama – EAA con Horno de Grafito  
\*ND: No detectable, fuera de rango

CODIFICACIÓN	DOSIS	CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
Cd B	0.0	2.7	mg/L	0.003
M1 B	0.10	0.25	mg/L	0.003
M2 B	0.125	0.01	mg/L	0.003
M3 B	0.150	0.34	mg/L	0.003
M4 B	0.175	0.09	mg/L	0.003

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama – EAA con Horno de Grafito  
\*ND: No detectable, fuera de rango

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad. El análisis se realizó por espectrofotometría de adsorción atómica.

Firmado digitalmente por:  
MONTESA ABULLI CESAR  
AUGUSTO FIR 16881280 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 24/11/2023 10:24:50-0500



REPORTE DE ANÁLISIS N° 065 – 2023

1. NOMBRE : Altamirano Tarrillo Jhelmer Jesús  
Soto Corra Yomira Yajaira
2. PROYECTO DE TESIS : Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano  
aplicando cáscara de huevo pulverizado

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 01
- Fecha de monitoreo : 06-11-2023
- Muestra : Agua del río Llaucano con tratamiento.

2. RESULTADOS

CODIFICACIÓN	DOSIS	CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
Cd RLI	0.125	0.00	mg/L	0.003

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama – EAA con Horno de Grafito*  
*\*ND: No detectable, fuera de rango*

3. CONCLUSIONES

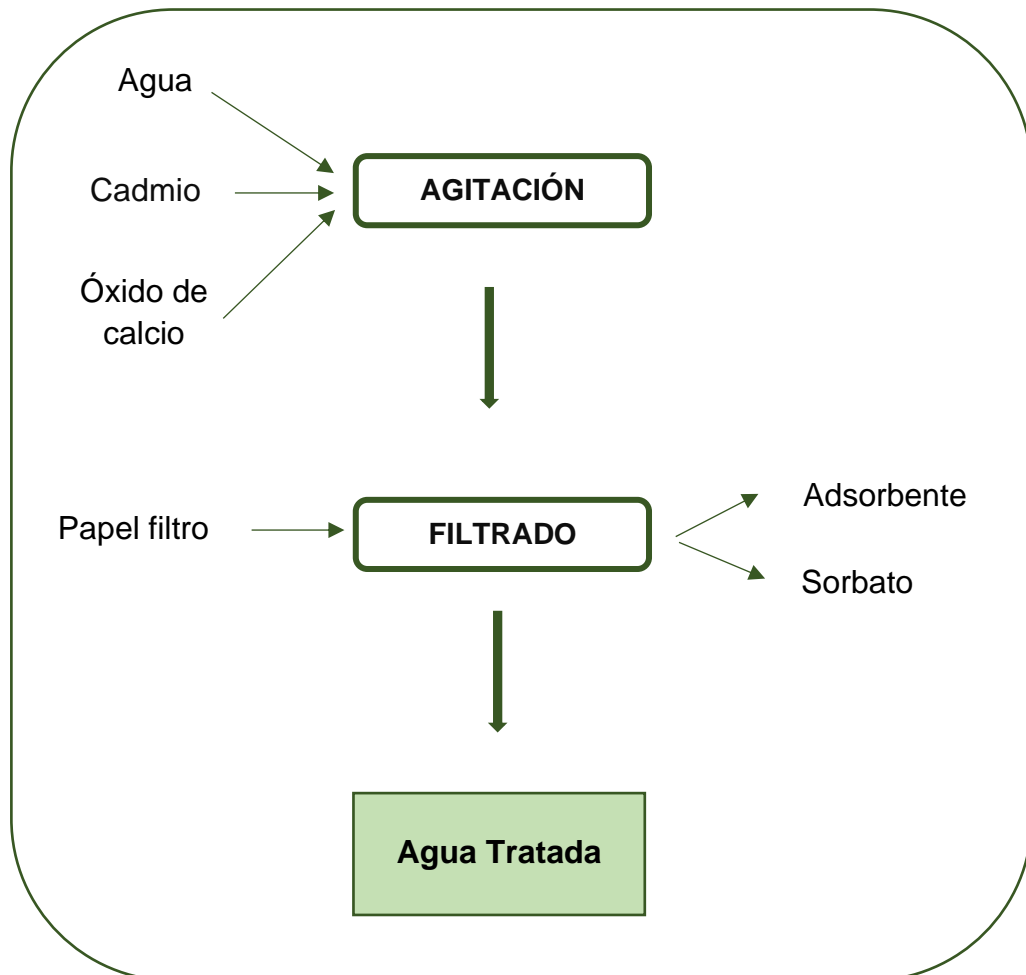
Los resultados obtenidos fueron realizados en el laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad. El análisis se realizó por espectrofotometría de adsorción atómica.

Firmado digitalmente por:  
MONTEZA ARBULU CESAR  
AUGUSTO FIR 16881280 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 24/11/2023 10:26:0500





**Anexo 4.** Diagrama de proceso para el tratamiento de agua contaminada por cadmio.



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5. Prueba de hipótesis.

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Explorar

**Resumen de procesamiento de casos**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Agua sin tratamiento	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
Agua con tratamiento	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

**Descriptivos**

	Estadístico	Error estándar
Agua sin tratamiento	Media	2,4147
	95% de intervalo de confianza para la media	1,7569
	Límite inferior	3,0726
	Límite superior	2,5257
	Media recortada al 5%	2,7000
	Mediana	,712
	Varianza	,85583
	Desviación estándar	,92458
	Mínimo	,13
	Máximo	,270
	Rango	,257
	Rango intercuartil	,00
	Asimetría	-3,000
	Curtosis	9,000
		1,400
Agua con tratamiento	Media	1,800
	95% de intervalo de confianza para la media	,692
	Límite inferior	,3098
	Límite superior	,1744
	Media recortada al 5%	,1744
	Mediana	,190
	Varianza	,029
	Desviación estándar	,16889
	Mínimo	,00
	Máximo	,46
	Rango	,46
	Rango intercuartil	,32
	Asimetría	,486
	Curtosis	-1,341
		1,400

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Agua sin tratamiento	,519	9	< ,001	,390	9	< ,001
Agua con tratamiento	,216	9	,207	,897	9	,236

<sup>a</sup>. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.  
a. Corrección de significación de Lilliefors

Agua sin tratamiento

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

Prueba T

**Estadísticas de muestras emparejadas**

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 Agua sin tratamiento	2,4147	9	,85583	,28528
Agua con tratamiento	,1800	9	,16889	,05630

**Correlaciones de muestras emparejadas**

	N	Correlación	Sig.
Par 1 Agua sin tratamiento & Agua con tratamiento	9	,400	,287

**Prueba de muestras emparejadas**

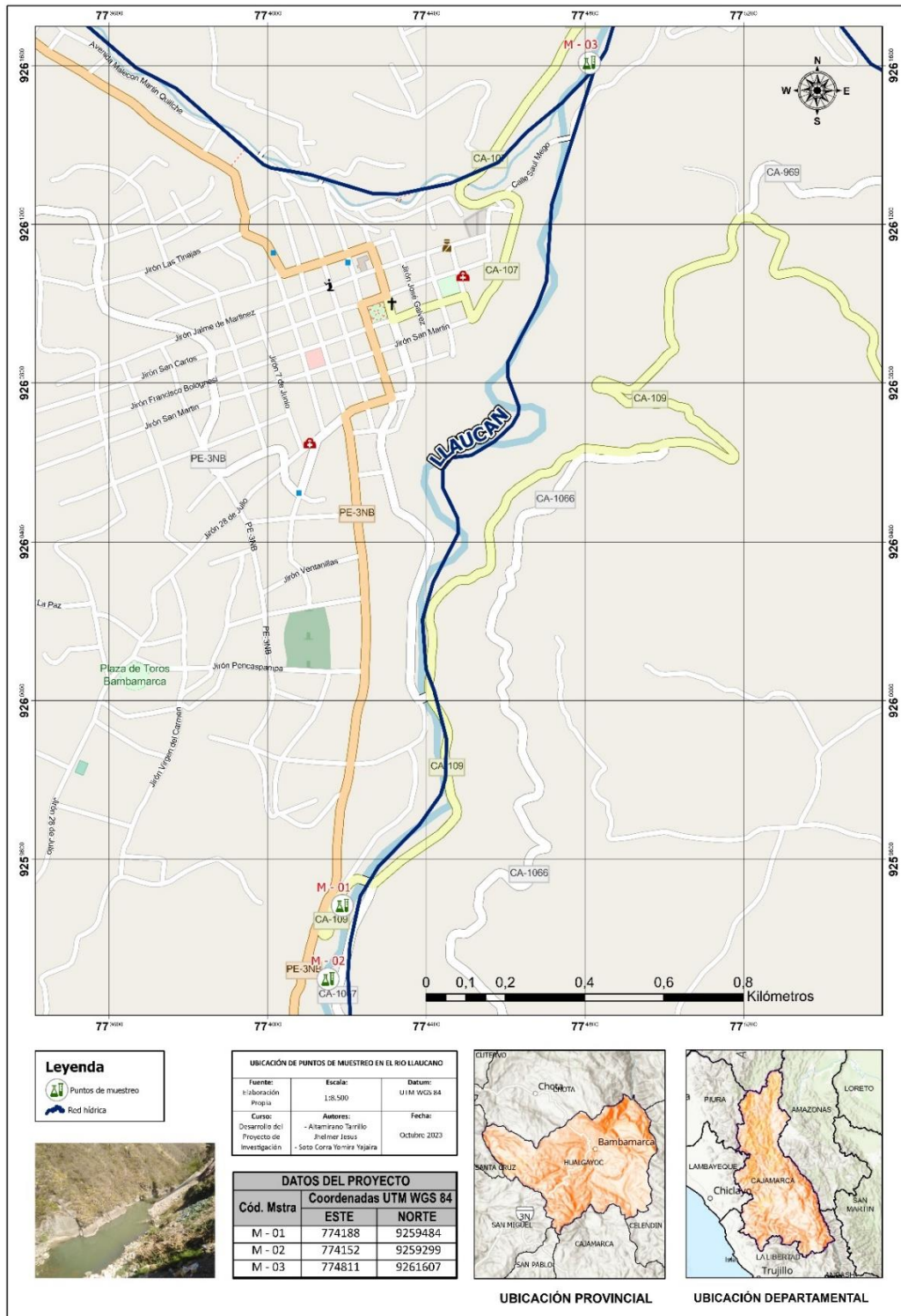
Diferencias emparejadas

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 Agua sin tratamiento - Agua con tratamiento	2,23472	,80339	,26780	1,61718	2,85226	8,345	8	< ,001

```
EXAMINE VARIABLES=Remocion_ST Remocion_CT
/PLOT BOXPLOT STEMLEAF NPLET
/COMPARE GROUPS
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/CIINTERVAL 95
/MISSING LISTWISE
```

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ACTIVADO

## Anexo 6. Ubicación de puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración propia

## Anexo 7. Registro fotográfico.



Recogida de muestra del punto 1.



Recogida de muestra del punto 2.



Recogida de muestra del punto 3.



Integración de las tres muestras.



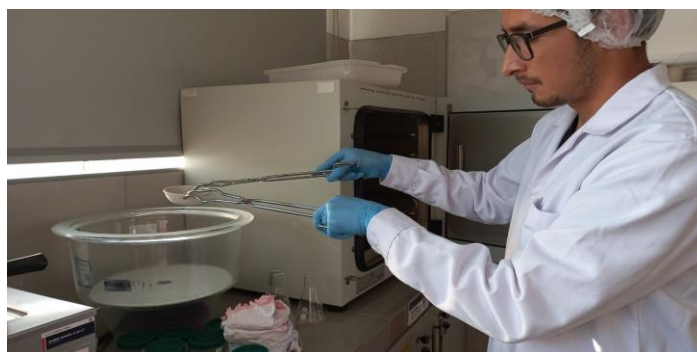
Lavado de cáscaras de huevo de gallina.



Pesaje de cáscara de huevo de gallina.



Estufa a 150 °C por 3 horas.



Desecador.



Trituración.



Calcinado.



Enfriado.





Tamizado.



Preparación de la solución (agua contaminada por inducción propia).



Pesaje de cáscara de huevo de gallina calcinada con 49.78 % de pureza de óxido de calcio.



Prueba de jarras utilizando cáscara de huevo de gallina calcinada con 49.78 % de pureza óxido de calcio.



Filtrado de muestras tratadas con cáscara de huevo de gallina calcinada con 49.78% de pureza óxido de calcio.



Muestras tratadas.



Análisis gravimétrico por precipitación para determinar pureza de CaO.