

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON
CÁSCARA DE HUEVO EN LABORATORIO, 2025**

PRESENTADA POR:

WINY MISHELE HUALLPA ZURITA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



3.58%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 30 JUN 2026, 12:50 PM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.58%

● CHANGED TEXT
3%

Report #33998585

WINY MISHELE HUALLPA ZURITA // REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON CÁSCARA DE HUEVO EN LABORATORIO, 2025 RESUMEN El estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad del polvo de cáscara de huevo para remover cadmio y plomo en aguas superficiales del río Coata. Dada la crisis ambiental de la cuenca, donde las concentraciones de metales exceden la normativa para uso agrícola y pecuario (Categoría 3), se validó el uso de este bioadsorbente como una solución económica y eficaz para recuperar la calidad del recurso hídrico. Con el fin de comprobar la eficiencia de la cáscara de huevo, se desarrolló un estudio cuantitativo experimental mediante la técnica de prueba de jarras. Partiendo de las concentraciones reales encontradas en el río Coata (0.01200 mg/L de Cd y 0.06000 mg/L de Pb), se implementó un diseño completamente al azar (DIA) que comparó un grupo control frente a dosis de 0.5 g, 1.0 g y 1.5 g de adsorbente. Para estandarizar el ensayo, se realizó un enriquecimiento controlado de las muestras hasta alcanzar una concentración de 3.9 mg/L por elemento. Los ensayos de laboratorio revelaron que la dosis de 1.5 g (T3) alcanzó los niveles de eficiencia más altos, removiendo el 89.84% de Cd y el 90.34% de Pb. El análisis de difracción de rayos X ratificó la calidad del bioadsorbente, reportando un 94.50% de calcita. Esta propiedad mineralógica es la responsable de la formación de precipitados estables (cerusita y otavita), confirmando que

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON
CÁSCARA DE HUEVO EN LABORATORIO, 2025**

PRESENTADA POR:

WINY MISHELE HUALLPA ZURITA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

PRIMER MIEMBRO

:


M.Sc. DENILSON MEDINA SANCHEZ

SEGUNDO MIEMBRO

:


Mtra. NATALY SILVIA GARCIA VILCA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 08 de julio del 2026.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y fortaleza en cada momento, brindándome la sabiduría para comprender la grandeza de su creación; y a mis padres, por ser mi motor y apoyo incondicional en cada etapa de este camino, gracias por creer en mí y por enseñarme que con esfuerzo todo es posible.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad Privada San Carlos, así como a su plana docente, por abrirme sus puertas y brindarme las herramientas necesarias para mi crecimiento y formación profesional.

Un reconocimiento especial a mi asesor de tesis, cuya guía invaluable y generosidad al compartir su experiencia técnica fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por su paciencia, orientación y compromiso constante con la excelencia académica.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, brindaron su valioso apoyo y colaboración para hacer posible la culminación de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	14
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	14
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	17
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	18
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	20
2.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA	20

2.1.2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS	21
2.1.3. CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO COATA	22
2.1.4. CONTAMINACIÓN DEL RÍO COATA POR METALES PESADOS	23
2.1.5. REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA	24
2.1.6. USO DE CÁSCARA DE HUEVO	25
2.1.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE HUEVO	27
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.3. MARCO NORMATIVO	29
2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	30
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	31
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.2.1. POBLACIÓN	32
3.2.2. MUESTRA	32
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	33
3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	33
3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	33
3.3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	33
3.3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS	34
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	37
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO	37

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE

CÁSCARA DE HUEVO MÁS EFICIENTE EN LA REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA.	38
4.1.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	38
4.1.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE REMOCIÓN	40
4.1.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE HUEVO PARA IDENTIFICAR LA SUSTANCIA ACTIVA EN LA REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA.	56
4.2.1. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SUSTANCIA ACTIVA	56
4.2.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: COMPARAR LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON LA CONCENTRACIÓN FINAL DEL TRATAMIENTO CON CÁSCARA DE HUEVO.	60
4.3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN NORMATIVA DEL CADMIO	60
4.3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN NORMATIVA DEL PLOMO	62
4.3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Ubicación de los Puntos de Muestreo	31
Tabla 02: Operacionalización de variables	37
Tabla 03: Concentraciones de Cadmio y Plomo	40
Tabla 04: Concentraciones finales y eficiencia de remoción de Cd según tratamiento.	41
Tabla 05: Promedio de remoción de Cd por tratamiento.	43
Tabla 06: Concentración residual de Cd por dosis de PCH.	43
Tabla 07: Análisis de Varianza (ANOVA) para Cadmio	44
Tabla 08: Comparaciones múltiples de Tukey para Cd	45
Tabla 09: Orden de mérito de tratamientos para Cadmio	45
Tabla 10: Concentraciones finales y eficiencia de remoción de Pb según tratamiento.	46
Tabla 11: Promedio de remoción de Pb por tratamiento.	48
Tabla 12: Concentración residual de Pb por dosis de PCH.	49
Tabla 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para Plomo	50
Tabla 14: Comparaciones múltiples de Tukey para Pb	50
Tabla 15: Orden de mérito de tratamientos para Plomo	51
Tabla 16: Discusión comparativa y fundamentos fisicoquímicos en la remoción de Pb ²⁺ y Cd ²⁺ con cáscara de huevo.	55
Tabla 17: Componentes químicos activos del polvo de cáscara de huevo (PCH) y su función en la retención de plomo y cadmio.	56
Tabla 18: Análisis comparativo de la remoción de cadmio (Cd) en condiciones experimentales y su proyección en el Río Coata frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).	61
Tabla 19: Análisis comparativo de la remoción de plomo (Pb) en condiciones experimentales y su proyección en el Río Coata frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Mapa de Ubicación de los Puntos de Muestreo - UTM WGS84 Zona 19S	32
Figura 02: Eficiencia de remoción de cadmio con polvo de cáscara de huevo.	42
Figura 03: Comparación de medias de cadmio (Cd) según el tratamiento.	45
Figura 04: Eficiencia de remoción de plomo con polvo de cáscara de huevo.	48
Figura 05: Comparación de medias de plomo (Pb) según el tratamiento.	51
Figura 06: Análisis cuantitativo de la composición química del Polvo de Cáscara de Huevo.	58
Figura 07: Toma de muestra de agua en el punto PM-1	86
Figura 08: Toma de muestra de agua en el punto PM-2	86
Figura 09: Rotulado y etiquetado de las muestras de agua del río Coata para la determinación de metales pesados (Cd y Pb).	87
Figura 10: Proceso de limpieza de las cáscaras de huevo	87
Figura 11: Proceso de secado de las cáscaras de huevo en el horno eléctrico	88
Figura 12: Preparación de la solución mediante inducción controlada	88
Figura 13: Proceso de molienda de las cáscaras de huevo deshidratadas	89
Figura 14: Pesaje analítico de las dosis de PCH para el ensayo de jarras	89
Figura 15: Ejecución del ensayo de jarras: primera corrida con cuatro dosis diferenciadas de PCH.	90
Figura 16: Proceso de agitación en la segunda etapa del ensayo de jarras con cuatro niveles de tratamiento.	90

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA: Remoción de cadmio y plomo de las aguas del río Coata con cáscara de huevo en laboratorio, 2025.	77
Anexo 02: Dosis de polvo de cáscara de huevo	78
Anexo 03: Tabla ANOVA GL Sumatoria de cuadrados (SC) Cuadrados medios (CM) Fc. Ft. Significancia 5% Tratamiento	78
Anexo 04: Normativa Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	79
Anexo 05: Resultados experimentales de la calidad inicial de las aguas del río Coata.	80
Anexo 06: Resultados del análisis de la muestra preparada mediante inducción controlada.	81
Anexo 07: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 0.5 g de cáscara de huevo (dos repeticiones).	82
Anexo 08: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 1.0 g de cáscara de huevo (dos repeticiones)	83
Anexo 09: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 1.5 g de cáscara de huevo (dos repeticiones)	84
Anexo 10: Resultados del análisis de composición química del polvo de cáscara de huevo mediante difracción de rayos X	85
Anexo 11: Registro fotográfico.	86

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad del polvo de cáscara de huevo para remover cadmio y plomo en aguas superficiales del río Coata. Dada la crisis ambiental de la cuenca, donde las concentraciones de metales exceden la normativa para uso agrícola y pecuario (Categoría 3), se validó el uso de este bioadsorbente como una solución económica y eficaz para recuperar la calidad del recurso hídrico. Con el fin de comprobar la eficiencia de la cáscara de huevo, se desarrolló un estudio cuantitativo experimental mediante la técnica de prueba de jarras. Partiendo de las concentraciones reales encontradas en el río Coata (0.01200 mg/L de Cd y 0.06000 mg/L de Pb), se implementó un diseño completamente al azar (DIA) que comparó un grupo control frente a dosis de 0.5 g, 1.0 g y 1.5 g de adsorbente. Para estandarizar el ensayo, se realizó un enriquecimiento controlado de las muestras hasta alcanzar una concentración de 3.9 mg/L por elemento. Los ensayos de laboratorio revelaron que la dosis de 1.5 g (T3) alcanzó los niveles de eficiencia más altos, removiendo el 89.84% de Cd y el 90.34% de Pb. El análisis de difracción de rayos X ratificó la calidad del bioadsorbente, reportando un 94.50% de calcita. Esta propiedad mineralógica es la responsable de la formación de precipitados estables (cerusita y otavita), confirmando que el material es una alternativa eficaz para la mitigación de metales pesados. Esta investigación demuestra que la cáscara de huevo es un adsorbente efectivo, capaz de tratar las aguas del río Coata hasta cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N° 004-2017-MINAM). Por tanto, esta propuesta destaca como una alternativa ecológica y económica para remediar cuerpos de agua degradados por vertimientos urbanos e industriales.

Palabras clave: Cadmio, Cáscara de huevo, Plomo, Remoción, Río Coata.

ABSTRACT

The study aimed to determine the capacity of eggshell powder to remove cadmium and lead from surface waters of the Coata River. Given the environmental crisis in the basin, where metal concentrations exceed the regulations for agricultural and livestock use (Category 3), the use of this bioadsorbent was validated as an economical and effective solution for restoring water quality. To verify the efficiency of eggshell powder, a quantitative experimental study was conducted using the jar test technique. Based on the actual concentrations found in the Coata River (0.01200 mg/L of Cd and 0.06000 mg/L of Pb), a completely randomized design (CRD) was implemented, comparing a control group against doses of 0.5 g, 1.0 g, and 1.5 g of adsorbent. To standardize the assay, a controlled enrichment of the samples was performed until a concentration of 3.9 mg/L per element was reached. Laboratory tests revealed that the 1.5 g dose (T3) achieved the highest efficiency levels, removing 89.84% of Cd and 90.34% of Pb. X-ray diffraction analysis confirmed the quality of the bioadsorbent, reporting 94.50% calcite. This mineralogical property is responsible for the formation of stable precipitates (cerussite and ottavite), confirming that the material is an effective alternative for mitigating heavy metals. This research demonstrates that eggshell is an effective adsorbent, capable of treating the waters of the Coata River to meet the Environmental Quality Standards (Supreme Decree No. 004-2017-MINAM). Therefore, this proposal stands out as an ecological and economical alternative for remediating water bodies degraded by urban and industrial discharges.

Keywords: Cadmium, Eggshell, Lead, Removal, Coata River.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua por metales pesados se ha consolidado como una crisis ambiental de gran escala debido a su origen humano y su alta toxicidad. Hoy en día, la seguridad de las cuencas hídricas se ve vulnerada por la creciente acumulación de metales pesados, un residuo crítico de las actividades antropogénicas. Al ser el agua el soporte vital de nuestra sociedad, su contaminación no solo degrada el medio ambiente, sino que cualquier alteración en su calidad pone en riesgo el bienestar de las poblaciones que habitan en la zona. (Pabón et al., 2020)

En Perú, la actividad metalúrgica vulnera la calidad de los recursos hídricos y representa una amenaza para la estabilidad de las cuencas, debido a las descargas de los relaves mineros, lo cual intensifica la presencia de agentes contaminantes en los cuerpos de agua receptores. El vertido de metales (Pb, Fe, Cu, As) y químicos industriales altera la composición del agua, dificultando su depuración. Por tanto, la presencia continua de estas toxinas genera un peligro para las comunidades humanas como para las actividades de crianza de animales. (Quispe et al., 2019)

Los lagos altoandinos, son esenciales para el equilibrio ambiental y el desarrollo comunitario, que enfrentan una situación crítica debido a la presencia de metales pesados (As, Cu, Hg y Pb) que exceden la normativa vigente. Aunque los indicadores fisicoquímicos del agua se mantengan estables, la contaminación existente es suficiente para prohibir su uso en actividades humanas y agropecuarias. Aunque la biota logre subsistir en el entorno, esto no garantiza que el agua cumpla con los estándares de salubridad requeridos para el uso humano. (Rodríguez et al., 2025)

La evaluación del sistema hídrico Coata-Titicaca reveló una preocupante concentración de metales pesados en el fondo del río y lago, tras monitorear cinco estaciones clave durante diversos periodos estacionales, se comprobó que las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) exceden los límites permitidos de calidad ambiental. Al contrastar estos datos con los parámetros TEL y SESS, resalta el hecho de que la presencia de estos

metales pesados no es natural, sino que es consecuencia directa de la presión antropogénica y el vertido de residuos industriales o domésticos. (Cornejo et al., 2023)

Dada la alarmante acumulación de contaminantes metálicos en el curso del Río Coata, el bienestar de las poblaciones aledañas se encuentra en riesgo, lo que hace prioritaria la creación de sistemas de descontaminación de bajo coste y ambientalmente sostenibles. En contraste con los tratamientos fisicoquímicos tradicionales, la bioadsorción se perfila como una estrategia innovadora y eficiente. (Duany et al., 2022)

Estudios previos han corroborado que la biomasa derivada de la cáscara de huevo de gallina posee propiedades excepcionales como un potente agente de descontaminación; su estructura porosa y funcional garantiza una depuración casi total de plomo y una alta tasa de retención de cadmio. Debido a que es un residuo de fácil obtención, su aplicación es ideal para mitigar los efectos de la minería en cuerpos de agua. (Velásquez, 2024)

Bajo este marco, la presente investigación evalúa el desempeño de este residuo como bioadsorbente para mitigar la presencia de plomo y cadmio en el Río Coata, buscando validar una metodología de remediación que sea tanto sostenible como accesible.

El presente trabajo de investigación se encuentra organizado de manera sistémica en cuatro capítulos principales:

El Capítulo I, delimita la problemática ambiental, los antecedentes académicos y los objetivos que rigen el estudio.

El Capítulo II, desarrolla el sustento teórico y conceptual que fundamenta la investigación, junto con la formulación de las hipótesis de trabajo.

El Capítulo III, expone la metodología, especificando el diseño, la población, la muestra, así como las técnicas e instrumentos aplicados.

El Capítulo IV, se centra en la exposición de los hallazgos, la validación estadística de las hipótesis y su análisis crítico, finalizando con las conclusiones y recomendaciones más relevantes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La contaminación por metales pesados en las aguas superficiales ha ido en aumento con el tiempo; según las normas de la OMS y la USEPA, las concentraciones son menores en los países desarrollados de Europa y América del Norte, y mayores en los países en desarrollo de África, Asia y América del Sur. Siendo la minería, erosión de las rocas y vertido de desechos las principales fuentes responsables de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua de ríos y lagos. (Zhou et al., 2020)

En los ríos de los Andes centrales del Perú, evaluaron el riesgo por la exposición a metales pesados, recolectando muestras de agua de siete ríos en 63 sitios de muestreo, dando como resultado concentraciones de Cu, Fe, Pb, Zn y As. (Custodio et al., 2020)

En las cabeceras de cuencas hidrográficas de los Andes peruanos, se encuentran zonas mineras y metalúrgicas, en donde las emisiones de Pb y Cd llegan a superar los límites máximos permisibles (LMP), contaminando los recursos hídricos e ingresando fácilmente a la cadena alimentaria. (Chirinos et al., 2022)

El río Coata es un ecosistema complejo, expuesto a una carga de sustancias que provienen del desarrollo urbano e industrial. Se vierten al río residuos y sustancias contaminantes generalmente sin ningún tratamiento, lo que contribuye a aumentar la concentración de metales pesados. Estos causan impactos sobre el medio ambiente, al depositarse en el fondo inducen cambios en las cadenas tróficas. (Matamet, 2022)

La conservación de la calidad del agua y su sedimento son importantes para diferentes usos, ya sea doméstico, industrial y agropecuario; por lo cual, al evaluar el grado de

contaminación por metales tóxicos en los sedimentos del río Coata, superaron los estándares internacionales de referencia TEL y SESS, encontrándose concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Esta contaminación está particularmente relacionada con la descarga del río Torococha, que contribuye diariamente a la contaminación de estas aguas. (Cornejo et al., 2023)

Además, al hacer una evaluación de contaminación en sedimentos superficiales del río Coata, se encontraron concentraciones de cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb), los cuales algunos valores superan los mínimos aceptables en las Normas de Calidad Ambiental peruana. (Quispe et al., 2019)

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de huevo en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata en laboratorio, 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la concentración de cáscara de huevo más eficiente para la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata en laboratorio?
- ¿Cuál es la composición química de la cáscara de huevo que actúa en la remoción del cadmio y plomo en las aguas del río Coata?
- ¿Cuál es la concentración inicial de cadmio y plomo en las aguas del río Coata y al final del tratamiento con cáscara de huevo?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Gurav & Samant (2021), en su investigación "Aplicación de cáscaras de huevo desechadas para la adsorción de iones Cd (II) y Pb (II) para proteger el medio ambiente: estudios de equilibrio, cinética y adsorción" tiene como objetivo estudiar la adsorción de cadmio y plomo en cáscara de huevo calcinada, la metodología empleada está dado por un enfoque cuantitativo y un diseño experimental en donde se aplicó a una muestra real de agua contaminada. Dando como resultado que la capacidad de remoción con cáscara de huevo calcinada es de hasta el 98% con solo 200 mg y una concentración inicial de 50

mg/L a los 120 minutos, se concluye que este adsorbente es un método eficiente, respetuoso con el ambiente y rentable económicamente para eliminar el cadmio y plomo. Annane et al. (2023), en su investigación “Eficiencia de la cáscara de huevo como adsorbente de bajo costo para la eliminación de cadmio: estudios cinéticos e isotérmicos” el cual tiene por objetivo estudiar la capacidad de absorción y rendimiento de la cáscara de huevo en función del tiempo de contacto, pH, concentración y dosis de este adsorbente, en donde la metodología empleada estuvo dado por un diseño experimental, un enfoque cuantitativo y un alcance explicativo siendo utilizados dos modelos de isothermas de adsorción vinculando las propiedades fisicoquímicas de los residuos de cáscara de huevo con su capacidad para eliminar iones de cadmio. Teniendo como resultado una mayor capacidad de adsorción a 217,4 mg.g⁻¹ en 10 min a un pH inicial de 5 con una dosis de adsorbente de 0,8 gL⁻¹, se concluye que la cáscara de huevo brinda una alta eficiencia para la eliminación de cadmio, siendo este recurso un material eficaz y económico.

Fazal & Rafique (2020), en su investigación “Modelización y evaluación de la eliminación de cadmio del agua mediante biorresiduos sostenibles de cáscaras de huevo de gallina”, el cual tiene por objetivo estudiar el polvo de cáscaras de huevo de gallina como adsorbente para eliminar cadmio del agua. Teniendo como resultados que la eliminación de cadmio aumenta cuando el tiempo de contacto es mayor, existe una mayor capacidad de adsorción de 0,17 mg/g a 0,21 mg/g con el aumento de dosis de 1 g a 2 g un pH alto agitado a 100 rpm, no habiendo mejora con una carga de 3 g, concluyendo que con una dosis de 2 g a 100 rpm durante 45 min y a un pH 7 es la más óptima para eliminar el cadmio a un 86%, por lo que las cáscaras de huevo demostró una remediación eficiente del agua contaminada por cadmio.

Segneanu et al. (2022), en su estudio “Cenizas de cáscara de huevo desechada y ceniza volante diseñadas de manera altamente eficiente para la eliminación de cadmio de una solución acuosa” con el objetivo de investigar el desarrollo de un adsorbente mediante la operatividad dos tipos diferentes de residuos (cáscaras de huevo y cenizas volantes), la

metodología está dada por un diseño experimental de enfoque cuantitativo y un alcance explicativo llevando a cabo experimentos por lotes con la influencia de parámetros como temperatura, pH, tiempo y dosificación. Teniendo como resultados que la adsorción de cadmio fue favorable cuando tuvo un equilibrio en 120 min un pH de 6,5 a temperatura ambiente para 0,25 g de adsorbente obteniendo un valor del 99.9% de eficiencia máxima, concluyendo las ventajas de este adsorbente como material ecológico y económico siendo eficaz y rentable en el tratamiento de aguas para la eliminación de cadmio de soluciones acuosas.

Duany et al. (2022), en su artículo "Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados" el cual tiene como objetivo revisar trabajos investigativos relacionados con bioadsorbentes empleados para mitigar metales pesados, la metodología empleada presenta un diseño no experimental de enfoque cualitativo basada en revisión bibliográfica, teniendo como resultados que dentro de los más factibles están las cáscaras de yuca, de plátano, de cítricos, la borra de café, cáscara de huevo y la caña de azúcar, concluyendo que estos bioadsorbentes fueron seleccionados para su uso en las aguas de la bahía de Santiago de Cuba eliminando eficientemente el cadmio, cromo y plomo contenido en estas aguas.

Calvache (2022), en su investigación "Estudio comparativo de dos sistemas de filtrado a base de residuos orgánicos de huevo y naranja para la retención de cromo hexavalente (Cr+6) de Soluciones acuosas" tuvo como objetivo realizar un estudio comparativo de la retención de cromo utilizando un filtro hecho a base de residuos orgánicos de cáscara de huevo y otro de cáscara de naranja, la metodología está dado por un diseño experimental del tipo descriptiva, en donde los resultados demostraron que el filtro con cáscara de huevo retiene un 46%, 47,75%, 55,90% y 56,06% a concentraciones de 0,6; 0,8; 1 y 1,5 mg/ml y se redujeron a 0,324; 0,418; 0,441 y 0,659 mg/ml respectivamente. Concluyendo que el porcentaje de retención más efectivo en cuanto a la cáscara de huevo fue de 56,06%.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Altamirano & Soto (2023), en su investigación "Remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano aplicando cáscara de huevo pulverizado" el cual tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de cadmio de las aguas del río Llaucano, la metodología empleada fue de enfoque cuantitativo de un diseño experimental. Se tiene como resultados que al realizar 4 pruebas y dos corridas al tener una concentración inicial de cadmio de 0,1352 mg/L y adicionar el adsorbente (cáscara de huevo calcinada) con dosis de 0.10g, 0.125g, 0.150g y 0.175g respectivamente a temperatura ambiente se obtuvo la dosis óptima para la eliminación del cadmio siendo de 0,125 g con pH inicial 6,3 y 8,15 durante el tratamiento. Concluyendo que se logró una eficiencia de remoción del 99,6% reduciendo la concentración inicial de 0,1352 mg/L a 0,0 mg/L por lo que se puede aprovechar de forma efectiva como adsorbente.

Mesías (2019), en su investigación "Aplicación de Cáscara de Huevo Calcinada para la Remoción de metales pesados en soluciones acuosas" el cual presenta como objetivo estudiar una nueva alternativa para remover metales pesados del agua usando cáscara de huevo como adsorbente. La metodología presente en el estudio fue de un diseño no experimental, de enfoque cualitativo, en donde hace una comparación de varios estudios relacionados a la remoción de metales pesados (cianuro, boro, plomo, cromo, cadmio) con la cáscara de huevo calcinada y en polvo. Teniendo como resultados que la capacidad de adsorción es mayor cuando esta es calcinada, removiendo el cadmio a 3 mg/L con 25 g/L de adsorbente en 10 min al 96.3% y el plomo a 3 mg/L con 25 g/L en 60 min al 70%. Concluyendo la eficiencia y la reutilización de este residuo orgánico, comprobando una remoción variada desde el 66% hasta el 96.3%.

De La Cruz & Quiroz (2020), en su estudio "Revisión sistemática y meta-análisis sobre la eficiencia de cáscaras naturales en la remoción de Pb, Cd, Cu y Cr en aguas contaminadas", que presenta por objetivo evaluar la eficiencia de las cáscaras naturales en la remoción de Pb, Cd, Cu y Cr en aguas contaminadas. La metodología con que se trabajó es de tipo aplicada, teniendo un diseño no experimental y enfoque cuantitativo.

Dando como resultado, que las cáscaras naturales lograron porcentajes de remoción de 90.8, 90.5, 85.9 y 93.13% con una adsorción con valores de pH de 4 a 6, 4 a 7.5, 4 a 7 y 1 a 6.5 respectivamente, teniendo en cuenta dosis, temperatura, pH y tiempo de contacto. Concluyendo, que la efectividad de las cáscaras naturales depende de las condiciones funcionales empleadas en el tratamiento por lo que son un recurso renovable y prometedor para la tecnología ambiental.

(Huarcaya, 2023), en su tesis "Evaluación de la capacidad de remoción de plomo del relave Sector A FIGMM UNI, utilizando cáscaras de huevo natural y calcinada de gallina-biochar, Lima-2023", se planteó como objetivo general evaluar la capacidad de este material para remover metales pesados. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo y una metodología de tipo experimental, en el cual se manipularon variables como el peso de la cáscara (1.5 y 3 g), el tiempo de contacto (24 y 48 h) y la agitación (225 y 450 RPM). Entre sus resultados más relevantes, el autor reportó una eficiencia de remoción de plomo de hasta 84.28% con cáscara natural y de 96.82% con cáscara calcinada, concluyendo que la formación de microporos y la presencia de CaCO_3 y CaO facilitan la interacción con el contaminante.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Flores (2019), en su investigación "Capacidad de Remoción de Cadmio Mediante Bioadsorbente de Tarwi (*Lupinus Mutabilis* Sweet), de las aguas del río San Antonio de Esquilache Puno – Perú" nos menciona que se obtuvo el bioadsorbente de la semilla propia del tarwi, presenta por objetivo determinar las características físico-químicas e inorgánicas de las aguas del río San Antonio de Esquilache y a su vez determinar la cantidad de bioadsorbente óptimo para la remoción. La metodología con la que se trabajó es de tipo aplicada, teniendo un diseño experimental de enfoque cuantitativo. En donde los resultados fueron que al tener concentración inicial de 0.084 mg/L, 0.149 mg/L y 0.262 mg/L con el uso del adsorbente a 2 gr, pH 5 y 32.5 minutos se obtuvieron concentraciones al 0.025 mg/L, 0.028 mg/L y 0.036 mg/L respectivamente demostrando que la capacidad de remoción de cadmio fue superior al 70%. Concluyendo que el

bioadsorbente de tarwi es eficiente como material para la remoción de metales en aguas contaminadas.

Quispe (2021), en su estudio "Uso de la cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*) y naranja (*Citrus Sinensis*), para la reducción de arsénico en aguas subterráneas, de la urbanización Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Puno, el cual tiene como objetivo determinar la eficacia de la cascara de platano y naranja para la reducción del arsénico en aguas subterráneas, la metodología empleada está dada por un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. Como resultados de unos cinco tratamientos con concentraciones iniciales de 1.351 mg/L se encontró una reducción del Arsénico usando una dosis óptima de 2.5g de cáscara de plátano pulverizada y 2.5g de cáscara de naranja pulverizada y un tiempo de 24 horas, reduciendo hasta 0.0988 mg/L de Arsénico. Concluyendo que el uso de estas cáscaras como bioadsorbentes es eficiente y económico para ser ejecutado en cualquier lugar.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia de la cáscara de huevo en la remoción de cadmio y plomo de las aguas del río Coata en laboratorio, 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de cáscara de huevo más eficiente en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata.
- Determinar la composición química de la cáscara de huevo para identificar la sustancia activa en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata.
- Comparar la concentración inicial de cadmio y plomo en las aguas del río Coata con la concentración final del tratamiento con cáscara de huevo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua es un recurso esencial para la biodiversidad, los seres humanos y todos los elementos vivos del planeta, mantiene el equilibrio necesario para la subsistencia animal y vegetal, además de ser un regulador natural del clima. (Aquae Fundación, 2021)

El agua dulce es un elemento imprescindible para la supervivencia humana, su disponibilidad es compleja debido a que es un factor determinante de los procesos sociales vitales del ser humano, su carencia sería un problema crítico, ya que permite el desarrollo de la sociedad y contrarresta la pobreza. (Calderón, 2023)

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), organismo adscrito al Ministerio del Ambiente (MINAM), busca evidencia sobre el océano, ecosistemas, regulación hídrica y la calidad del agua, en sí sobre todo conocimiento científico sobre el agua, para poder proponer políticas públicas e instrumentos para mejorar la calidad del agua. Estudiar este recurso natural es importante para el desarrollo sostenible, como los reservorios de agua, que puede ser accesible a muchas más personas siendo un derecho fundamental y vital. (IGP, 2022)

El agua es un nutriente esencial para la vida, estudios clínicos demuestran que tener una hidratación adecuada es beneficioso para la salud, el cuerpo humano está conformado por un mayor porcentaje de agua pero con la edad disminuye. El Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) recomiendan la ingesta de agua diaria, incluyendo el agua de bebidas y de alimentos,

más en varones que en mujeres, para así tener un mejor rendimiento físico. (Salas et al., 2020)

2.1.2. CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR METALES PESADOS

La presencia de metales pesados en el agua es una de las principales problemáticas actualmente en el mundo. La gran toxicidad que presentan estos elementos causa muchas consecuencias en el ser humano, flora y fauna, medio ambiente en general y a la vez impactos socioeconómicos. En algunas cuencas del Perú se encontraron altas concentraciones de metales, fluyendo mayores cantidades de descargas de elementos pesados hacia las microcuencas, siendo una amenaza a la biodiversidad por bioacumulación y biomagnificación, causando un grave problema ambiental. (Correa et al., 2021)

Los metales pesados tóxicos más estudiados son Hg, Pb, As, Cd, Cr, Zn, Cu, Ni, Sn, Co, sus efectos en los organismos vivos varían, debido a su persistencia, estos se bioacumulan y se magnifican a la cadenas tróficas. Son tóxicos aun en muy baja concentración, se siguen haciendo esfuerzos para poder fiscalizar las actividades industriales que causan contaminación en lagos, lagunas, acuíferos, reservorios. (Gamboa, 2021)

Las actividades antropogénicas son la principal fuente de que metales pesados como el plomo, cromo, cadmio, zinc, cromo, mercurio entre otros, sean liberados a cuerpos de agua. Por ejemplo, en el caso del mercurio, sus fuentes de contaminación varían como descargas humanas, materiales agrícolas, descargas industriales, minería. O en el caso del cromo, donde utilizan estos elementos para el curtido y acabado de cueros, o el cadmio en la industria para fabricar baterías. La mayor cantidad de contaminación por estos metales son las descargas de aguas residuales de actividades de tipo industrial, mientras más aumenta la concentración en el agua, aumenta el riesgo para los seres humanos y demás organismos vivos. (Pabón et al., 2020b)

Las actividades correspondientes del avance de las sociedades actuales han favorecido al aumento excesivo de metales pesados como: plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd),

arsénico (As), cromo (Cr), cobre (Cu), entre otros y como resultado directo la contaminación. La presencia de metales pesados en el medio ambiente y los alimentos consigue originar diversas intoxicaciones causando lesiones irremediables en la salud humana y animal, elevadas concentraciones de estos metales alteran todo proceso bioquímico y fisiológico, tan graves como el cáncer y provocar la muerte. (Heredia, 2021) Además, se acumulan los contaminantes en los tejidos biológicos del ser humano al ingerir agua contaminada, alimentos contaminados y partículas suspendidas de sedimento, eso hacen que se alteren los procesos fisiológicos y bioquímicos, que causan diferentes patologías e intoxicaciones, efectos mutagénicos (daño al material genético), teratogénicos y carcinogénicos. La fuente de todo esto la falta de plantas de tratamiento, mal manejo de residuos, minería informal, agroindustria, fabricación de fertilizantes, entre otros. (Aguilar & Olmos, 2022)

En especial, la exposición a grados elevados de plomo (Pb) tiene consecuencias en los sistemas inmunológico, nervioso, reproductivo y cardiovascular, además una exposición sutil tiene apariciones clínicas como encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales. Por otro lado, el cadmio (Cd) puede afectar a los órganos como el hígado, pulmón, riñón y placenta, o enfermedades cardiovasculares. (Sanez et al., 2024)

Según la Organización de la Naciones Unidas (ONU), más de diez millones de peruanos, el 31,15% de la población, ingiere a través del agua tóxicos como los metales pesados, que se debe principalmente a la minería, poniendo en peligro la salud de las generaciones actuales y futuras. Como en el caso de Cajamarca, siendo el 70% de su población que consume el agua contaminada. (ONU, 2022)

2.1.3. CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO COATA

La calidad del agua se clasifica en distintas categorías en función a la presencia de fuentes contaminantes, el Perú se acogió al modelo canadiense “ICA-PE” instrumento con el que se puede estimar la variación de la calidad de las aguas superficiales. (ANA, 2018) En cuanto a la calidad del agua del río Coata, presentan contaminación por materia

orgánica y metales pesados antes de entrar en contacto con las fuentes contaminantes, en el tramo puente Maravillas y puente Coata el agua varía de la categoría mala a regular, incluido al uso que se le da para riego de vegetales y bebidas de animales. (Callasaca et al., 2022)

2.1.4. CONTAMINACIÓN DEL RÍO COATA POR METALES PESADOS

El río Coata, que desemboca en el lago Titicaca, afronta una situación grave debido a los altos niveles de contaminación provocados por el vertimiento de aguas servidas, metales pesados como arsénico y mercurio, residuos sólidos. Lo cual ha desencadenado la muerte de peces y aves, causando la pérdida de biodiversidad y comprometiendo la salud de los habitantes en Juliaca, una ciudad con una población de más de 300.000 habitantes. (Niño de Guzmán, 2024)

La coloración verdosa y turbia de las aguas es un indicador de vertimiento de aguas residuales, presencia de metales pesados y residuos sólidos, esto se refleja en las aguas del río Coata, cuyos distritos como Huata, Coata y Capachica son afectados y conviven con este problema ambiental. (Al, 2021)

En la cuenca baja del río Coata, se encontraron cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb), una posible causa de la contaminación captada es la acción antrópica doméstica e industrial, causando un alto impacto ambiental, perjudicando el equilibrio de los diversos ecosistemas, cambiando la conservación de la cadena trófica, ocasionando riesgos significativos en la ambiente y en la sociedad. (Quispe et al., 2019) Como por ejemplo, impacta de manera negativa la actividad ganadera, que a la vez afecta en los ingresos económicos de varias familias cercanas al río. (Al, 2021)

A la vez, los sedimentos superficiales del río Coata contienen metales trazas tóxicos de origen litogénico y antropogénico, debido a las descargas de aguas residuales provenientes de la ciudad de Juliaca que recibe el río Torococha. Se reflejan en los resultados obtenidos de los sedimentos, que indican que los metales As, Cd, Cr y Hg superan los estándares de referencia internacionales. Como consecuencia la vida

acuática del río Coata se viene degradando en su recorrido hasta su desembocadura en el Lago Titicaca. (Cornejo et al., 2023)

2.1.5. REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA

El problema de contaminación por metales pesados es debido principalmente a la actividad humana, industria y eliminación de residuos mineros, ocasionando cambios biológicos, químicos y físicos. Por lo que, se buscan nuevos tratamientos y tecnologías para eliminar estos contaminantes. Tenemos en técnicas convencionales: Filtración por membrana, electrodiálisis, ósmosis inversa, nanofiltración; y en técnicas no convencionales: Adsorbentes de bajo costo y nuevos, fitorremediación, biopolímeros, ceniza volante. (Boss Tech, 2018)

Algunos efluentes anteriormente se trataron con combinaciones de procesos físico-químicos como el de lodos activados; sin embargo, no logran reducir la concentración de los metales pesados a los límites mínimos a los permitidos. Los residuos que quedan de estos, que son los lodos, son aún más tóxicos y requieren otro tratamiento especial, que se hace más costoso. Por ello, se diseñaron unas tecnologías que se encargan de separar los metales de los efluentes líquidos, para ser reutilizados posteriormente como: la precipitación química, técnicas de adsorción, recuperación con disolvente y procesos basados en membranas. (Sarria et al., 2020)

En una investigación, se determinaron las mejores tecnologías que influyen en su aplicación en el ámbito social, que fueron capaces de eliminar un mayor número de metales pesados como Pb, Cr, Mg, Cu, As, Zn, Fe, Al, Mn, Ni y Co del agua (aguas residuales, subterráneas, pluviales, industriales, relaves mineros, entre otros). Entre estas tenemos las tecnologías por absorción y adsorción, que buscan en gran medida subir su capacidad para eliminar los contaminantes y mejorar la calidad del agua. (Toledo, 2021)

La eliminación de metales pesados de las aguas es necesaria para salvaguardar el medio ambiente y la salud humana. Una opción confiable y eficaz son los bioadsorbentes, que han ganado buena atención como materiales sostenibles de bajo costo para la eliminación de metales pesados en agua. Estos adsorbentes pueden ser desarrollados a

partir de diversos desechos biológicos, que contienen una alta porosidad y la presencia de muchos grupos funcionales que faciliten una mejor remediación de estos metales pesados tóxicos que contaminan el agua. (Muhammad et al., 2021)

Entre otros métodos no convencionales se encuentran la biorremediación, el empleo de biopolímeros y el uso de residuos agroindustriales. En la búsqueda de los residuos agroindustriales ya que son numerosos, de los empleados con mayor inclinación están las cáscaras de plátano, de yuca, de cítricos, la caña de azúcar, cáscara de huevo y la borra de café. (Duany et al., 2022)

El proceso de adsorción es considerado como uno de los tratamientos en gran manera efectivos de metales pesados, por lo cual, resaltan cuatro clases de fuentes de adsorbentes: adsorbentes poliméricos, subproductos industriales, minerales naturales y nanomateriales de carbono. (Zaimee et al., 2021)

Además, se descubrió que los procedimientos físico químicos, ya sea por adsorbentes, membranas y electroquímicos los cuales son los más utilizados para la remoción de metales pesados, siendo los más económicos en su ejecución (0.0163 USD/m³) y los de membrana de ósmosis inversa los más costosos (0.3319 USD/m³). Entre los metales pesados que pueden remover podemos encontrar al As, Cr, Cd, Cu, Hg, Pb, Ni y de los cuales, se descubrió al As y Pb como los más primordiales por su alta toxicidad. Dichos procedimientos deben ejecutarse bajo la legislación aplicable, las necesidades de la población y los recursos disponibles para llevar a cabo el tratamiento. (Zúñiga, 2022)

2.1.6. USO DE CÁSCARA DE HUEVO

La cáscara de huevo de gallina es un material biológico que se produce diariamente como residuo en grandes cantidades, de distintas fuentes como en los hogares, restaurantes y hoteles. Anualmente, debido al aumento de la población el consumo de huevos aumenta, por lo que, se genera grandes cantidades de cáscara de huevo. (Abdullah et al., 2020)

Es una problemática la gestión de los residuos de cáscara de huevo, ya que estos solo son desechados, por el contrario, se pueden obtener ventajas ambientales y económicas

transformando estos desechos en nuevos productos que contribuyan con el medio ambiente. (Mignardi et al., 2020)

Los residuos de la cáscara de huevo es utilizado como un material de sustitución para tratar aguas contaminadas, al utilizarlo como medio filtrante es beneficioso, ya que es de bajo costo, renovable, disponible y sostenible. (Arshad et al., 2021) Incluso para la adsorción de metales pesados tóxicos como en el caso del cromo y el cadmio de soluciones acuosas (Abatan et al., 2020), en particular, Pb(II), Cu(II) y Zinc(II) de las aguas contaminadas. (Khaskheli et al., 2021)

Realizando estudios se encontró que son buenos para eliminar metales pesados mediante la absorción de aguas residuales, la cáscara de huevo es el mejor adsorbente ya que proporciona más rendimiento facilitando el proceso de filtración, similares a usar cáscara de plátano y calabaza. También, la adición de polvo de cáscara de huevo al utilizarlo como aditivo en el concreto refuerza las propiedades físicas, térmicas y mecánicas en los materiales de construcción, es ventajoso por el ahorro de energía, durabilidad, bajo precio, respeto con el medio ambiente y la contaminación ambiental disminuye. (Beltrán et al., 2021)

Además, en un proyecto lo usaron como alternativa sustentable para la producción agrícola, la cáscara de huevo por su gran potencial nutricional es rentable para el manejo de suelos contaminados y ácidos, como enmienda orgánica siendo efectiva al lograr resultados similares con la cal agrícola. (Vallejo & Osorno, 2021)

Es usado como biorresiduo en las industrias alimentarias, la cáscara de huevo es procesado para obtener el carbonato de calcio que este contiene, siendo usado en diferentes partes del mundo. Es beneficioso para la salud humana, usándolo como suplemento para mujeres, adolescentes, niños, tiene mejor absorción por el organismo en forma de polvo. A la vez contribuye a disminuir la contaminación de los cuerpos de agua y otros lugares, reduciendo su cantidad mediante la venta, mejorando hasta la calidad de las cosechas usándose como abono. (Casiano et al., 2023)

2.1.7. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE HUEVO

Las cáscaras de huevo presentan una estructura porosa, con un área superficial de $435 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, está compuesta principalmente por CaCO_3 y una carga superficial neutra a pH 7. (Oliveira et al., 2022)

La cáscara de huevo tiene un alto contenido en carbonato de calcio y otros constituyentes en menor cantidad como hidróxido de calcio, fosfato de calcio, carbonato de magnesio, sustancias orgánicas y en su membrana se encuentran proteínas como el colágeno y el ácido hialurónico, lo que hace que sea una materia prima única. Una sola cáscara de huevo contiene alrededor de 2,0 g de calcio (Ca), además este biomaterial contiene hierro (Fe), boro (B), cobre (Cu), estroncio (Sr), azufre (S), manganeso (Mn), Zinc (Zn), molibdeno (Mo) y silicio (Si), también en su contenido se encuentran elementos pesados como el plomo (Pb), Aluminio (Al), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), pero en valores mínimos. (Bedoya et al., 2020)

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado de transición tóxico que no tiene una función fisiológica, el cual, implica un riesgo a la salud de los seres humanos y los animales. Se puede encontrar de forma natural en el medio ambiente como resultado de muchas actividades humanas como de fuentes industriales como reactivo corrosivo, su exposición es a través de ingesta de comida o aguas contaminadas. Puede causar diferentes efectos en el organismo como cáncer de pulmón, páncreas, hígado, riñón, entre otros. (Genchi et al., 2020)

La toxicidad del cadmio perjudica a toda clase de plantas, influye en el crecimiento de las plantas, reduciendo el contenido de clorofila y la actividad fotosintética, ocasiona la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS), causa deterioro en las membranas de las plantas y destruye los orgánulos celulares y biomoléculas. (Haider et al., 2021)

Calidad del agua

El agua es un solvente universal, el constituyente más importante para sobrevivir, tener una fuente de agua limpia es necesaria para consumo humano y posibilita la vida de especies. Tiene un gran dominio en los procesos bioquímicos que suceden en la naturaleza. Para saber si un agua califica para una finalidad en particular, su calidad debe ser vista en función al uso que se le va dar. Al estar al tanto de estos fundamentos, se dice que el agua está contaminada cuando padece alteraciones que afectan su uso real o potencial. (MINAM, 2005)

Cáscara de huevo

La cáscara de huevo es una capa delgada mineral de poco más o menos de 350 micras de espesor, la cual protege el contenido del huevo contra golpes o impactos y la contaminación por microorganismos. Esta capa tiene muchos poros que propician el intercambio de gases imprescindibles para la respiración del embrión, también provee el calcio necesario para la formación del esqueleto. (Cabrera, 2021)

Metales pesados

Los metales pesados se entienden regularmente como metales naturales que disponen de densidades elementales elevadas a 5 gcm y números atómicos mayores de 20. Son aquellos metales con una densidad superior, a más de 5 g/cm³, y por la masa atómica, es un elemento químico que abarca entre 63.55 u y 200.59 u. Existe un grupo de metales pesados conocidos por ser causantes de graves problemas medioambientales y para la salud pública, tales como el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg), y un metaloide como el arsénico (As). (Forruque et al., 2022)

Plomo

El plomo es un metal tóxico que ha causado en gran medida contaminación ambiental y muchos problemas en la salud de personas. Esta sustancia acumulativa afecta a muchos sistemas como el neurológico, gastrointestinal, cardiovascular, inmunológico y renal. Los más vulnerables son los infantes, hasta una mínima exposición a este metal puede causar daños neurológicos graves e irreversibles. Según datos más recientes de la

Organización Mundial de la Salud (OMS) el plomo causó más de 2 millones de muertes en el mundo en 2019. (Organization, 2023)

Tratamiento de aguas

Existen diversas técnicas físicas, químicas y biológicas para tratamientos de aguas contaminadas, que eliminan o reducen la acumulación de estos. Dentro de los cuales tenemos la sedimentación, filtración y adsorción, quienes se encargan de separar los contaminantes del agua. Los tratamientos químicos modifican los metales pesados en estructuras menos solubles o se llegan a precipitar para ser eliminados, estos incluyen la coagulación o floculación, intercambio catiónico, entre otros. (López et al., 2024)

2.3. MARCO NORMATIVO

Para la presente investigación se basó en la presente normativa:

- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- Resolución N° 010-2016-ANA — Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.
- Decreto Supremo N° 007-2023-SA - Reglamento de la Ley N° 31189, Ley para fortalecer la prevención, mitigación y atención de la salud afectada por la contaminación con metales pesados y otras sustancias químicas.
- Resolución Jefatural N°010-2016-ANA - Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales - Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DCERH)
- Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” - Vigilancia de la Calidad del Agua:
- Art. 76°: La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en coordinación con el Consejo de Cuenca, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de calidad ambiental del agua sobre la base de los ECAs para agua y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales.
- Ley General del Ambiente N° 28611
- Ley General de Aguas - Decreto Ley N° 17752

- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Ministerio del Ambiente

2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La cáscara de huevo aplicada en aguas del río Coata es efectiva en la remoción de Cadmio y Plomo en laboratorio, 2025.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La aplicación de diferentes concentraciones de cáscara de huevo determina la dosis más eficiente en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata.
- Conociendo la composición química de la cáscara de huevo permite identificar la sustancia activa en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata.
- La concentración de cadmio y plomo disminuye en las aguas del río Coata al final del tratamiento con cáscara de huevo en comparación a la concentración inicial.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El río Coata se encuentra ubicado en la región sur del Perú, en el distrito de Coata, en el departamento de Puno, siendo un afluente del lago Titicaca. Su ubicación geográfica es: 15°06'36" a 15°55'12" y Longitud Oeste 69°55'12" a 71°12'00". (SENAMHI, 2016)

El área de estudio abarca parte del río Coata en el tramo comprendido entre el puente Maravillas (ubicado en la ciudad de Juliaca) al puente Coata (ubicado en el distrito de Coata), se identificaron las fuentes de contaminación en los siguientes puntos de muestreo de acuerdo al protocolo de la calidad del agua.

Tabla 01: Ubicación de los Puntos de Muestreo

Puntos de Muestreo	Lugar	Ubicación UTM		Altitud (m.s.n.m)	Código
		WGS-84 Zona 19L			
		Norte	Este		
1	Puente Maravillas	8292979.00	377659.00	3836	PM-1
2	Puente Coata	8276368.00	397479.00	3827	PM-2

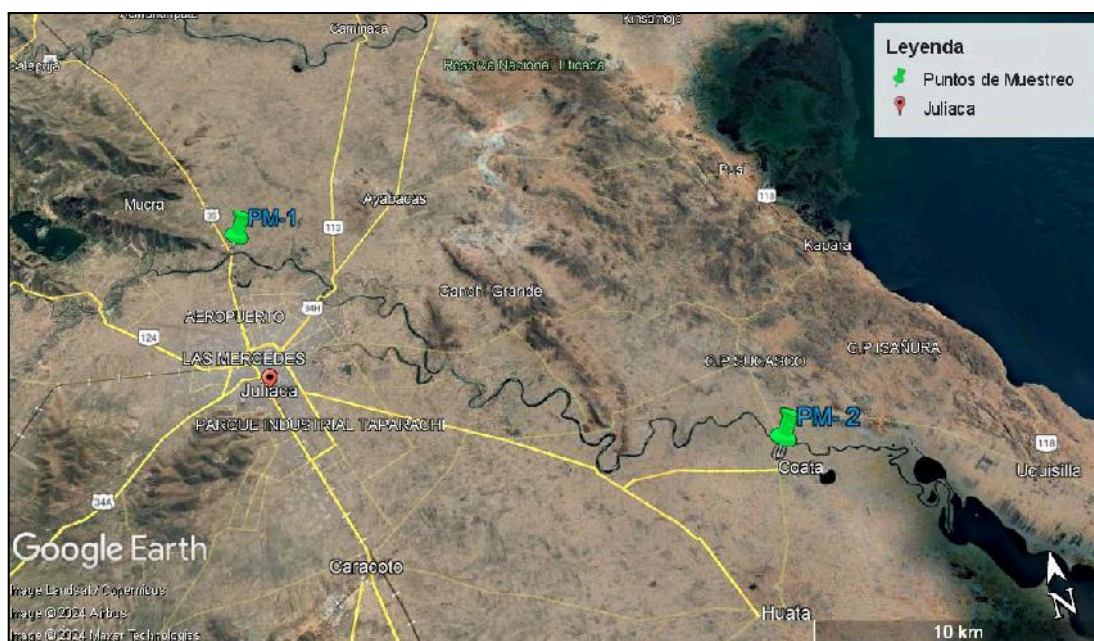


Figura 01: Mapa de Ubicación de los Puntos de Muestreo - UTM WGS84 Zona 19S

Fuente: Google Earth

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Según Zúñiga et al. (2023) , señala que la población se refiere a un conjunto entero de individuos o elementos que tienen una característica común y son objeto de estudio, es primordial para elegir las técnicas estadísticas adecuadas, lo que lo hace primordial para validar los resultados.

La población del estudio está establecida por el agua del río Coata - Puno.

3.2.2. MUESTRA

Es una muestra no probabilística, para determinar la remoción de cadmio y plomo se tomarán dos muestras integradas (3 L de cada una aproximadamente) de dos puntos de muestreo tomando las coordenadas in situ al momento de la toma de muestras de las aguas del río Coata, ambos puntos se encontrarán a una distancia aproximada a 2 km, para luego mezclar las dos muestras debidamente homogeneizadas para finalmente obtener una muestra representativa para el análisis en laboratorio.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación el enfoque es cuantitativo, debido a los resultados numéricos con los que mediremos la eficiencia de remoción del cambio y plomo de las muestras recolectadas con ayuda de la cáscara del huevo. Según Zúñiga et al. (2023) , es cuando el estudio se identifica por la recopilación de información que puede ser cuantificada, busca hacer un análisis riguroso para obtener nuevos métodos o técnicas para la obtención de resultados cuantitativos.

3.3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es descriptivo para ahondar en la problemática real, para este caso en específico se tratará sobre cómo optar remover metales pesados con el uso de material orgánico y reciclable.

3.3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto el diseño investigativo pertenece a un diseño experimental, con el que se busca conocer los mejores resultados de remoción del cadmio y plomo usando la cáscara de huevo en polvo en las muestras de agua extraídas del río Coata.

3.3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

- **Técnicas:**

Según Zúñiga et al. (2023), menciona que las técnicas de investigación son procedimientos para recolección de datos información etc., de manera detallada, como la observación la cual se aplicará en la presente investigación, especialmente en la fase de laboratorio, a su vez la técnica Registro de datos.

- **Instrumentos:**

Zúñiga et al. (2023) expresa que el instrumento es una herramienta utilizada para recolectar datos. Para la observación directa se utilizará la guía de observación y el registro u hoja de campo.

Como instrumentos de medición el GPS para toma de coordenadas UTM en los puntos de toma de muestras de agua in situ en laboratorio un cronómetro para registro del

tiempo de licuado de muestras con las correspondientes dosis de polvo de cáscara de huevo en laboratorio.

3.3.5. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVOS

- **Para el objetivo específico 1:** Determinar la concentración de cáscara de huevo más eficiente en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata..

Etapas de campo:

- Recolección de muestras del Río Coata

El muestreo de agua se llevará a cabo siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016). Se recolectarán muestras de agua superficial en dos puntos estratégicos del río Coata: el puente Maravillas y el puente Coata (ver coordenadas en la Figura 1), con un volumen de 3 litros por cada punto. Dado que ambos puntos se encuentran separados por aproximadamente 2 km, las muestras serán homogeneizadas para obtener una muestra compuesta representativa, la cual será empleada en los ensayos experimentales de adsorción con cáscara de huevo. Posteriormente, una parte de las muestras será trasladada al laboratorio GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L., en la ciudad de Juliaca, donde serán debidamente rotuladas y analizadas para determinar la concentración inicial de cadmio y plomo.

- Adquisición de materia prima (cáscara de huevo)

Las cáscaras de huevo, utilizadas como material adsorbente, fueron recolectadas mediante un proceso de acopio periódico durante un periodo de un mes en la ciudad de Puno. Este procedimiento permitió obtener la cantidad necesaria de material adsorbente para el desarrollo de los ensayos experimentales en laboratorio.

Etapas de laboratorio:

Los siguientes procesos de lavado hasta molienda se basaron en la investigación de (Altamirano & Soto, 2023):

- **Paso 1:** Proceso de limpieza, trituración y desinfección de la cáscara de huevo
- Inicialmente, se retiraron de forma manual las partículas de suciedad de las cáscaras de huevo mediante lavados sucesivos con agua destilada. Posteriormente, el material limpio

se dispuso en un horno eléctrico (estufa de secado) a una temperatura controlada de 100 °C por un periodo de 24 horas (hasta alcanzar peso constante); este procedimiento aseguró la eliminación total de la humedad sin alterar la matriz mineral del adsorbente. Una vez deshidratadas, las cáscaras se sometieron a un proceso de molienda empleando un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino, el cual fue finalmente vertido en bandejas y tamizado para garantizar una granulometría uniforme antes de los ensayos de jarras.

- **Paso 2:** Preparación de la solución (inducción controlada de metales pesados)

Tras determinar las concentraciones iniciales de cadmio y plomo en las muestras del río Coata, se procedió a realizar una inducción controlada de dichos metales. Aunque los niveles detectados superan los ECA (Estándar de Calidad Ambiental) para agua de categoría 3, se determinó que resultaban insuficientes para evaluar con precisión la capacidad de adsorción del material. En consecuencia, se preparó una solución de trabajo a partir de 4 litros de agua, ajustada con una concentración de 3.9 mg/L de sales de nitrato (Pb y Cd), la cual sirvió como base para los ensayos en el equipo de Jar-Test.

- **Paso 3:** Preparación de la prueba de jarras (Jar-Test)

La prueba de jarras se escogió con el motivo que permite el contacto y la generación de energía suficiente para que el polvo de la cáscara de huevo interactúe con las aguas contaminadas con plomo y cadmio, para obtener los datos de reducción de los metales en el agua.

Al obtener las concentraciones ya determinadas de cadmio y plomo después de la inducción controlada, se procederá a utilizar el instrumento de prueba de jarras, se realizará la primera corrida con 4 pruebas, las dosis del residuo adsorbente que se utilizará son: 0 g, 0.5 g, 1 g y 1.5 g de cáscara de huevo en polvo, más el testigo. Seguidamente se realizará una segunda corrida con 4 pruebas, con las mismas dosis del adsorbente anteriormente mencionadas, incluyendo el testigo.

El proceso de agitación será de 20 minutos, a 130 rpm durante 5 min en mezcla rápida y 30 rpm durante 15 min en mezcla lenta a una temperatura ambiente constante, estos datos son para ambas corridas.

Por último, se tomará 100 ml de muestra de cada prueba realizada, para después determinar el porcentaje de remoción y se conocerá la dosis más eficiente que reducirá el cadmio y plomo.

- **Para el objetivo específico 2:** Determinar la composición química de la cáscara de huevo para identificar la sustancia activa en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata.

Para determinar la composición química de la cáscara de huevo se realizará un análisis de laboratorio con 100 gr del polvo de cáscara de huevo ya preparado con anterioridad. Mediante una técnica que ayudará a especificar el contenido que componen el adsorbente a utilizar. El laboratorio donde se realizará la experimentación de esta investigación dará a conocer los resultados de su composición y se encontrará la sustancia activa que se encuentra en mayor cantidad.

- **Para el objetivo específico 3:** Comparar la concentración inicial de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata con la concentración final del tratamiento con cáscara de huevo.

Una vez obtenido los resultados del laboratorio con respecto a la concentración de cadmio y plomo antes del tratamiento y después de este, se realizará la comparación según la normativa, el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, para conocer finalmente que cantidades se redujo después de la experimentación en laboratorio.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 02: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala
Vi.	Dosificaciones del	Dosis (0.5g - 1g - 1.5g)	Razón
Cáscara de huevo	polvo de cáscara de huevo (PCH)	Tiempo (20 min)	Razón
Vd.		% de remoción de cadmio	Razón
Remoción de cadmio y plomo del agua		% de remoción de plomo	Razón

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Con los datos resultantes recolectados en laboratorio el método de análisis de datos se realizará con el soporte de un software de procesamiento de datos (IBM SPSS Statistics y Microsoft Excel) para evidenciar los resultados mediante tablas y gráficos, previa aplicación del diseño estadístico completo al azar (DIA) con cuatro tratamientos y dos repeticiones por tratamiento incluido el tratamiento control para comprobar si existen diferencias en las medias ANOVA de existir se aplicará la prueba de Tukey para determinar el orden de méritos entre los tratamientos. (anexo 3)

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE CÁSCARA DE HUEVO MÁS EFICIENTE EN LA REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA.

Con la finalidad de cumplir el primer objetivo específico, se analizó la capacidad del polvo de cáscara de huevo (PCH) como agente bioadsorbente para la eliminación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en muestras de agua del río Coata. La investigación se rigió por un Diseño Completamente al Azar (DIA), estableciendo cuatro tratamientos con dos repeticiones cada uno. Las dosis experimentales de PCH fueron: T0 (0 g), T1 (0.5 g), T2 (1.0 g) y T3 (1.5 g). El procesamiento de datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), calculando los porcentajes de remoción de forma independiente para cada metal.

4.1.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4.1.1.1. ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN EN EL RÍO COATA

Dando cumplimiento a la etapa de campo, se recolectó muestras de agua en dos puntos: el Puente Maravillas y el Puente Coata. Estas se mezclaron uniformemente para obtener una muestra representativa que refleje el estado actual de contaminación por metales pesados en dicho tramo del río.

El análisis físico-químico fue realizado por el laboratorio GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L., empleando la técnica de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) bajo el método 200.8. Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

- Cadmio (Cd): 0.01200 mg/L

- Plomo (Pb): 0.06000 mg/L

Estos valores confirman la presencia de metales pesados en el río Coata, situándose por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua en la Categoría 3, lo cual valida la necesidad de un sistema de tratamiento.

A pesar de que las concentraciones detectadas exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), dichas cifras representan una carga metálica relativamente baja para los fines experimentales de esta tesis. Dado que se busca evaluar el potencial máximo de absorción de la cáscara de huevo, se realizó una inducción propia de metales, garantizando así un escenario de estudio adecuado para los ensayos de remoción, cuyos datos se verán en la siguiente sección.

4.1.1.2. DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES POR INDUCCIÓN CONTROLADA

Una vez obtenida la caracterización base del río Coata, se analizó la viabilidad de trabajar con las concentraciones de Cd (0.01200 mg/L) y Pb (0.06000 mg/L). Pese a ratificar la existencia de contaminantes metálicos, se determinó que son insuficientes para medir con precisión la capacidad máxima de adsorción tras la aplicación de las diferentes dosis de cáscara de huevo propuestas en el diseño experimental.

Por tal motivo, se procedió a realizar una inducción propia de contaminantes. Este proceso consistió en incrementar la concentración de la muestra representativa mediante la adición de 3.9 mg/L de sales de nitrato (Pb y Cd). La elección de estas sales se basó por su alta solubilidad, asegurando así la presencia efectiva de los iones metálicos en la solución.

Este ajuste experimental permitió establecer las concentraciones de trabajo en los niveles que se detallan a continuación:

Tabla 03: Concentraciones de Cadmio y Plomo

<i>Metal</i>	<i>Concentración Inicial</i>	<i>Concentración Inducida</i>
<i>Cadmio (Cd)</i>	0.01200 mg/L	3.98752 mg/L
<i>Plomo (Pb)</i>	0.06000 mg/L	4.02354 mg/L

La decisión de trabajar con concentraciones cercanas a los 4 mg/L se fundamenta en la necesidad de evaluar la eficiencia de remoción, sometiendo el material bioadsorbente (cáscara de huevo) a un régimen de alta carga metálica.

4.1.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE REMOCIÓN

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo utilizando la metodología de prueba de jarras (Jar-Test), evaluando el efecto de la dosis del material adsorbente a través de cuatro tratamientos distintos (T0, T1, T2, T3), con un tiempo de agitación fijo de 20 minutos y dos repeticiones por cada tratamiento. Para estimar el porcentaje de remoción (%R), se utilizó la siguiente relación matemática:

$$\%R = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \times 100$$

En esta expresión, C_0 corresponde a la concentración inicial del contaminante inducido, mientras que C_f representa la concentración remanente al finalizar el proceso, la cual fue cuantificada mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).

4.1.2.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA REMOCIÓN DE CADMIO

En los resultados obtenidos para la remoción de cadmio, se observó un descenso gradual en los niveles del metal conforme se incrementó la dosis de polvo de cáscara de huevo aplicada en el tratamiento. Este comportamiento pone de manifiesto la notable afinidad superficial y selectividad que posee la cáscara de huevo para retener e inmovilizar los cationes divalentes de cadmio (Cd^{2+}). A continuación, se analiza el impacto de cada tratamiento:

Tabla 04: Concentraciones finales y eficiencia de remoción de Cd según tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Dosis de Adsorbente (g)</i>	<i>C. Inicial (mg/L)</i>	<i>C. Final Rep. 1 (mg/L)</i>	<i>C. Final Rep. 2 (mg/L)</i>	<i>C. Final Promedio (mg/L)</i>	<i>Eficiencia de Remoción Promedio (%)</i>
T0 (Control)	0.0 g	3.9875	3.98752	3.98752	3.98752	0.00%
		2				
T1	0.5 g	3.9875	0.63483	0.63481	0.63482	84.08%
		2				
T2	1.0 g	3.9875	0.69273	0.69271	0.69272	82.63%
		2				
T3	1.5 g	3.9875	0.40526	0.40523	0.40525	89.84%
		2				

La Tabla 04 presenta un resumen de las concentraciones promedio alcanzadas y la correspondiente eficiencia de remoción porcentual del bioadsorbente para el Cadmio.

En el caso del tratamiento control (T0), donde no se añadió adsorbente (0 g), la concentración inicial inducida del metal permaneció casi inalterada, registrando un valor de 3.98752 mg/L; esto demuestra que la ausencia del biomaterial impide una disminución relevante del contaminante.

Por el contrario, al incorporar una dosis de 0.5 g de cáscara de huevo (T1), la concentración disminuyó de un valor inicial de 3.98752 mg/L a un promedio residual de 0.63482 mg/L, alcanzando una eficiencia de remoción del 84.08%. Esto representa el primer indicio de retención atribuido a la capacidad adsorptiva del material evaluado.

Un comportamiento inesperado se observó en el tratamiento T2 (1.0 g), donde la concentración final experimentó un sutil incremento promedio a 0.69272 mg/L, disminuyendo ligeramente la eficiencia a 82.63%. En la ciencia de la adsorción, este fenómeno se atribuye a la aglomeración de las partículas debido al exceso de biomasa. Este confinamiento genera un efecto de solapamiento que bloquea los sitios activos disponibles para la captura del metal. A esto se suma que, al reducirse la relación masa

de contaminante/masa de adsorbente, disminuye la fuerza impulsora por gradiente de concentración, lo que dificulta la difusión y fijación del cadmio en la superficie del material. Por último, en el tratamiento T3, que representa la dosis máxima ensayada de 1.5 g de adsorbente, se registró la concentración residual de cadmio más baja del estudio, situándose en 0.40525 mg/L y alcanzando la máxima eficiencia de remoción con un 89.84%. De este modo, el sistema superó las limitaciones por aglomeración observadas anteriormente, posicionando a T3 como la condición operativa óptima para la depuración de este metal pesado bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Con la adición de 1.5 g de adsorbente, la cantidad de nuevos sitios de unión disponibles aumenta de forma drástica. A pesar de que ocurra aglomeración e interacción colisional entre las partículas, el número de grupos funcionales libres expuestos en la fase acuosa es tan elevado que supera las limitaciones de los tratamientos anteriores. Esto compensa cualquier pérdida de área superficial disponible y permite capturar de manera masiva los cationes libres de cadmio.

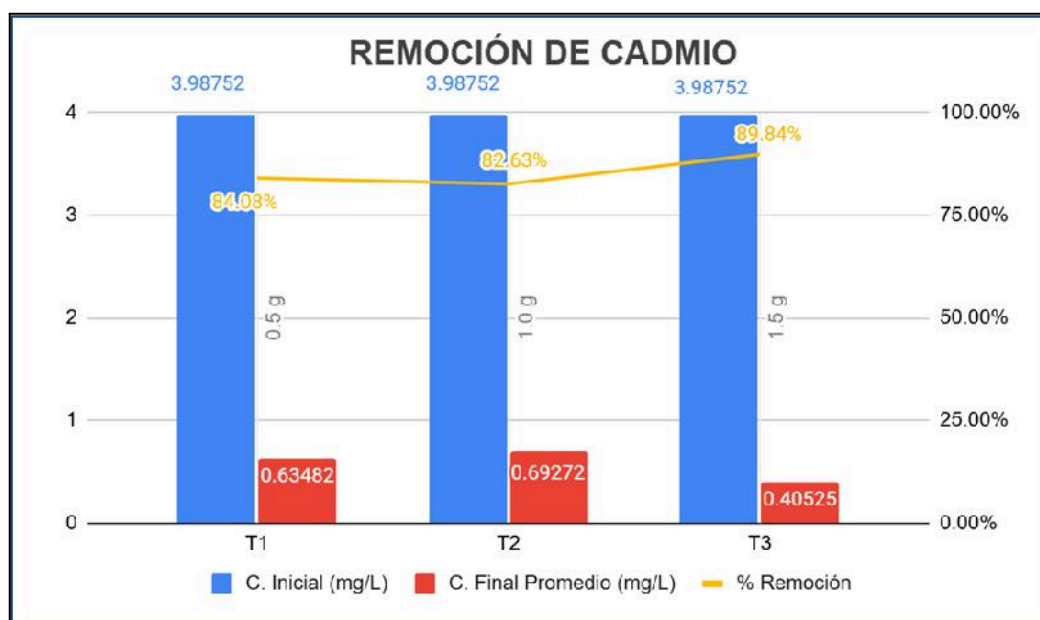


Figura 02: Eficiencia de remoción de cadmio con polvo de cáscara de huevo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar la eficiencia de las diferentes dosis de polvo de cáscara de huevo en la remoción de cadmio, se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DIA) con cuatro

tratamientos y dos repeticiones por tratamiento: T0 = 0 g (testigo), T1 = 0.5 g, T2 = 1.0 g y T3 = 1.5 g.

Tabla 05: Promedio de remoción de Cd por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Promedio (%)</i>
T0 (0 g)	0.00000
T1 (0.5 g)	84.07983
T2 (1.0 g)	82.62780
T3 (1.5 g)	89.83717

Los resultados muestran que el tratamiento T3 (1.5 g de cáscara de huevo) presentó la mayor eficiencia de remoción de cadmio, alcanzando un promedio de 89.83717%, seguido del tratamiento T1 con 84.07983% y T2 con 82.62780%.

a) Diseño Completamente al Azar (DIA)

Tabla 06: Concentración residual de Cd por dosis de PCH.

Tratamiento	Dosis PCH	Repeticón 1	Repeticón 2	Promedio (mg/L)
T0	0 g	3.98752	3.98752	3.98752
T1	0.5 g	0.63483	0.63481	0.63482
T2	1.0 g	0.69273	0.69271	0.69272
T3	1.5 g	0.40526	0.40523	0.40525

Interpretación:

Los datos revelan una disminución notable en los niveles de cadmio en cada uno de los tratamientos evaluados al compararlos con el grupo testigo (T0), evidenciando la capacidad adsorbente del polvo de cáscara de huevo. Respecto a los niveles finales del contaminante, el tratamiento T3 (1.5 g) arrojó el valor medio más bajo de todo el estudio. A este le siguió el tratamiento T1 (0.5 g) y, finalmente, el tratamiento T2 (1.0 g), mostrando una secuencia de remoción no lineal.

b) Análisis de Varianza (ANOVA) para Cadmio

Con el propósito de determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

Hipótesis:

- H0: No existen diferencias significativas entre tratamientos.
- H1: Existe al menos una diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 07: Análisis de Varianza (ANOVA) para Cadmio

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	17.53385	5.84462	27504080000. 00	< 0.05
Error	4	0.0000000008 5	0.00000000021		
Total	7	17.53385			

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

Interpretación:

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados para la remoción de cadmio, debido a que el valor de p es menor a 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alternativa (H1), concluyendo que las dosis de polvo de cáscara de huevo influyen significativamente en la remoción de cadmio.

c) Prueba de Tukey para Cadmio

Al existir diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar el orden de mérito.

Tabla 08: Comparaciones múltiples de Tukey para Cd

Comparación	Diferencia de medias	p-valor	Significancia
T0 vs T1	-3.35270	0.000	Sí

T0 vs T2	-3.29480	0.000	Sí
T0 vs T3	-3.58230	0.000	Sí
T1 vs T2	0.05790	0.000	Sí
T1 vs T3	-0.22960	0.000	Sí
T2 vs T3	-0.28750	0.000	Sí

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

Tabla 09: Orden de mérito de tratamientos para Cadmio

Tratamiento	Promedio Cd (mg/L)	Orden de mérito
T3 (1.5 g)	0.40525	1°
T1 (0.5 g)	0.63482	2°
T2 (1.0 g)	0.69272	3°
T0 (0 g)	3.98752	4°

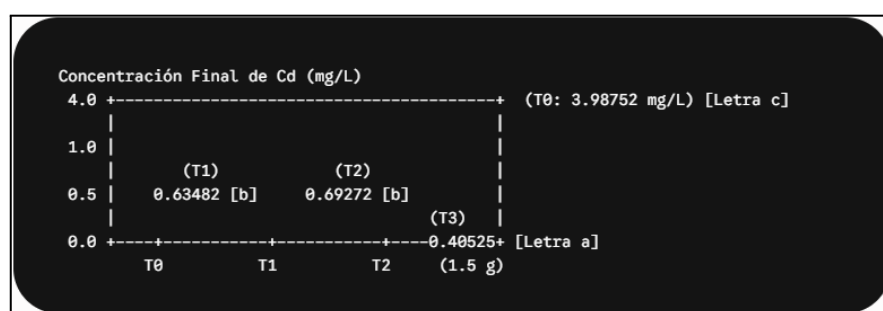


Figura 03: Comparación de medias de cadmio (Cd) según el tratamiento.

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

Interpretación:

La prueba estadística divide los tratamientos en tres subconjuntos disjuntos. El Tratamiento T3 (1.5 g) se ubica de forma aislada en el subconjunto de menor concentración remanente (0.40525 mg/L), consolidándose estadísticamente como el tratamiento con el mejor orden de mérito y el más eficiente.

Por otro lado, los tratamientos T1 (0.5 g) y T2 (1.0 g) pertenecen al mismo grupo estadístico (letra b). Esto indica que aumentar la dosis de 0.5 g a 1.0 g no produce una mejora significativa en la remoción, posiblemente debido a la saturación temprana de los sitios de adsorción.

4.1.2.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA REMOCIÓN DE PLOMO

Los resultados muestran que el plomo sigue un patrón concordante con el del cadmio. Se observó que la concentración del metal disminuye gradualmente a medida que aumenta la dosificación del adsorbente a base de polvo de cáscara de huevo. El impacto de cada tratamiento se detalla a continuación:

Tabla 10: Concentraciones finales y eficiencia de remoción de Pb según tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Dosis de Adsorbente (g)</i>	<i>C. Inicial (mg/L)</i>	<i>C. Final Rep. 1 (mg/L)</i>	<i>C. Final Rep. 2 (mg/L)</i>	<i>C. Final Promedio (mg/L)</i>	<i>Eficiencia de Remoción Promedio (%)</i>
<i>T0 (Control)</i>	0.0 g	4.02354	4.02354	4.02354	4.02354	0.00%
<i>T1</i>	0.5 g	4.02354	0.46375	0.46372	0.46374	88.47%
<i>T2</i>	1.0 g	4.02354	0.43473	0.43471	0.43472	89.20%
<i>T3</i>	1.5 g	4.02354	0.38872	0.38874	0.38873	90.34%

La Tabla 10 presenta un resumen de las concentraciones promedio alcanzadas y la correspondiente eficiencia de remoción porcentual del bioadsorbente para el plomo.

En la muestra testigo designada como T0, donde no se adiciona polvo de cáscara de huevo (0 g), la concentración promedio final de plomo se situó en 4.02354 mg/L, manteniéndose prácticamente igual a la concentración inducida inicial debido a la ausencia del adsorbente.

En lo que respecta al tratamiento T1 (0.5 g), se constató un cambio favorable en la remoción del metal pesado. Al contrastar la concentración inicial de 4.02354 mg/L con el valor promedio obtenido post-tratamiento, el cual descendió a 0.46374 mg/L, se

determinó una eficiencia de remoción del 88.47%. Estos resultados cuantitativos confirman la efectividad del tratamiento desde su dosis más baja.

Posteriormente, al duplicar la dosis del bioadsorbente en el tratamiento T2 (1.0 g), se observó una mejora en la capacidad de remoción del plomo, logrando reducir la concentración promedio a 0.43472 mg/L. Este descenso representa un incremento en la eficacia del proceso, el cual alcanzó una tasa de remoción del 89.20%. Este comportamiento sugiere que la adición de una mayor masa de adsorbente aumenta la superficie de contacto disponible, lo que permite capturar de manera más eficiente los iones del metal pesado en la solución.

El mejor resultado se logró en el tratamiento T3, que eliminó el 90.34% del plomo. Esto demuestra que a mayor dosis, mejor es el resultado, y posiciona a la cáscara de huevo como una alternativa barata, ecológica y eficaz para limpiar aguas contaminadas. Por lo tanto, fue la concentración más eficiente para la remoción de plomo en las aguas del río Coata.

En resumen, los datos demuestran que añadir más cáscara de huevo ayuda a atrapar mejor el plomo. Esto se debe a que la cáscara es porosa y tiene componentes químicos que funcionan como imanes, facilitando que el metal se pegue a su superficie de manera más rápida y eficiente.

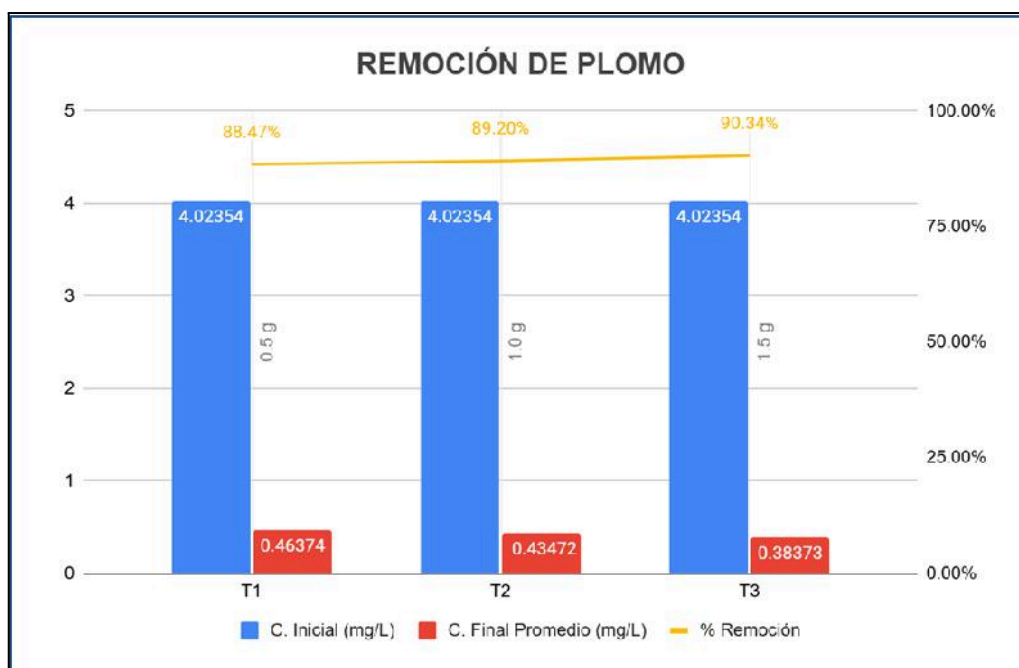


Figura 04: Eficiencia de remoción de plomo con polvo de cáscara de huevo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar la eficiencia de las dosis de polvo de cáscara de huevo en la remoción de plomo, se aplicó igualmente un Diseño Completamente al Azar (DIA) con cuatro tratamientos y dos repeticiones por tratamiento: T0 = 0 g (testigo), T1 = 0.5 g, T2 = 1.0 g y T3 = 1.5 g.

Tabla 11: Promedio de remoción de Pb por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Promedio (%)</i>
T0 (0 g)	0.00000
T1 (0.5 g)	88.47445
T2 (1.0 g)	89.19558
T3 (1.5 g)	90.33861

Los resultados indican que el tratamiento T3 (1.5 g) alcanzó la mayor eficiencia de remoción de plomo con 90.33861%, seguido de T2 con 89.19558% y T1 con 88.47445%.

a) Diseño Completamente al Azar (DIA)

Tabla 12: Concentración residual de Pb por dosis de PCH.

Tratamiento	Dosis PCH	Repetición 1	Repetición 2	Promedio (mg/L)
T0	0 g	4.02354	4.02354	4.02354
T1	0.5 g	0.46375	0.46372	0.46374
T2	1.0 g	0.43473	0.43471	0.43472
T3	1.5 g	0.38872	0.38874	0.38873

Interpretación:

Se constató una disminución estadísticamente significativa en la concentración residual de plomo en todos los tratamientos evaluados con polvo de cáscara de huevo (PCH) en comparación con el grupo testigo. Entre ellos, el tratamiento T3 (1.5 g) logró la menor concentración promedio del metal, superando en efectividad a T2 y T1, respectivamente.

b) Análisis de Varianza (ANOVA) para Plomo

Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos evaluados.

Hipótesis:

- H0: No existen diferencias significativas entre tratamientos.
- H1: Existe al menos una diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 13: Análisis de Varianza (ANOVA) para Plomo

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	19.38613	6.46204	30409620000.00	< 0.05
Error	4	0.00000000085	0.00000000021		
Total	7	19.38613			

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

Interpretación:

El análisis de varianza (ANOVA) reveló la existencia de diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados para la remoción de plomo, sustentado en un p-valor inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las dosis de polvo de cáscara de huevo afectan significativamente la remoción de plomo.

c) Prueba de Tukey para Plomo

Debido a la existencia de diferencias significativas, se realizó la prueba de Tukey para establecer el orden de mérito entre tratamientos.

Tabla 14: Comparaciones múltiples de Tukey para Pb

Comparación	Diferencia de medias	p-valor	Significancia
T0 vs T1	-3.55980	0.000	Sí
T0 vs T2	-3.58880	0.000	Sí
T0 vs T3	-3.63480	0.000	Sí
T1 vs T2	-0.02900	0.000	Sí
T1 vs T3	-0.07500	0.000	Sí
T2 vs T3	-0.04600	0.000	Sí

Fuente: Análisis estadístico – SPSS

Tabla 15: Orden de mérito de tratamientos para Plomo

Tratamiento	Promedio Pb (mg/L)	Orden de mérito
T3 (1.5 g)	0.38873	1°
T2 (1.0 g)	0.43472	2°
T1 (0.5 g)	0.46374	3°
T0 (0 g)	4.02354	4°

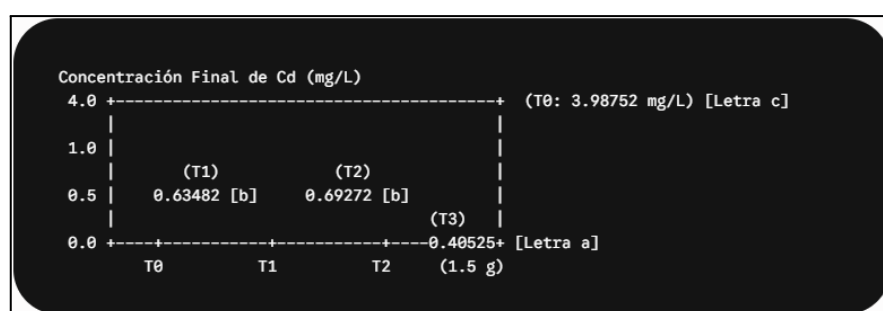


Figura 05: Comparación de medias de plomo (Pb) según el tratamiento.

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de comparación múltiple de Tukey.

Interpretación:

A diferencia del cadmio, la prueba de Tukey para el plomo dividió los resultados en cuatro grupos completamente independientes (letras a, b, c y d). Esto demuestra estadísticamente que cada aumento en la dosis de cáscara de huevo optimiza significativamente la remoción del metal.

El análisis estadístico posiciona al tratamiento T3 (1.5 g) como el más eficiente, al registrar la menor concentración residual de plomo (0.38873 mg/L). Por su parte, cada uno de los tratamientos de menor dosis (T2 y T1) se agrupó de manera independiente, mostrando una capacidad de remoción que difiere de forma significativa con relación a la muestra control. Esto confirma que la remoción de plomo es altamente sensible a la cantidad de adsorbente, debido a los procesos de intercambio iónico en la matriz de calcita.

4.1.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tras validar los resultados estadísticamente (DIA), se comparó por separado la cinética, dosificación y remoción del Cadmio y del Plomo con otras investigaciones.

a) Discusión de Resultados para la Remoción de Cadmio (Cd)

La remoción de Cadmio (Cd^{2+}) empleando polvo de cáscara de huevo mostró una alta eficiencia desde la primera dosis, logrando un 84.08% de remoción en el tratamiento T1 (0.5 g). Esta drástica disminución en la concentración, que pasó de 3.98752 mg/L a solo 0.63482 mg/L, coincide con lo reportado por Segneanu et al., (2022). Según estos autores, la eficiencia del material se debe a que la matriz de la cáscara de huevo combina el carbonato de calcio ($CaCO_3$) con redes de proteínas ricas en aminoácidos. Esta estructura aporta una gran cantidad de grupos funcionales libres, específicamente amino ($-NH_2$), carboxilo ($-COOH$) y sulfhidrido ($-SH$). Cuando el material entra en contacto con el agua inducida del Río Coata, estos grupos químicos atrapan de forma espontánea a los cationes de cadmio, gracias a que la alta fuerza iónica del medio facilita el enlace.

Sin embargo, en el tratamiento T2 (1.0 g) la eficiencia disminuyó levemente al 82.63% (0.69 mg/L). Este comportamiento, que según la prueba de Tukey no mostró diferencias estadísticas significativas respecto a T1, se fundamenta teóricamente en los postulados de Fazal y Rafique (2020). Los autores sostienen que, al aumentar la dosificación del adsorbente en un volumen constante, la fricción hidrodinámica provoca la aglomeración de las partículas. Este fenómeno, denominado "efecto de apantallamiento o screening interfacial", hace que las partículas se agrupen y se obstruyan entre sí; al encimarse estas capas, se bloquean los poros y se frena la difusión del metal hacia el interior del adsorbente.

En este mismo sentido, Annane et al. (2023) explican que la agitación constante provoca colisiones frecuentes entre las partículas. Este movimiento mecánico es capaz de romper los enlaces químicos más débiles que sujetaban al metal; como consecuencia, parte del cadmio que ya había sido retenido se libera y regresa a la fase líquida.

Por el contrario, al evaluar el tratamiento T3 (1.5 g), el proceso logró sobreponerse a las limitaciones cinéticas anteriores y registró la eficiencia más alta del estudio, llegando al 89.84% (0.40525 mg/L). Este incremento se fundamenta en los hallazgos de De La Cruz y Quiroz (2020), quienes explican que la adición de dosis masivas de este adsorbente calcáreo activa un mecanismo combinado de intercambio iónico y coprecipitación química superficial. Al disolverse microscópicamente el carbonato de calcio ($CaCO_3$) de la cáscara en el agua, se liberan de forma masiva iones carbonato (CO_3^{2-}); estos iones reaccionan directamente con el cadmio residual, forzándolo a transformarse en un compuesto mineral insoluble conocido como otavita ($CdCO_3$). Este mecanismo de precipitación mineral superó cualquier pérdida por apantallamiento o desorción local reportada en T2, maximizando la retención del metal en el adsorbente.

b) Discusión de Resultados para la Remoción de Plomo (Pb)

A diferencia de las fluctuaciones cinéticas registradas con el cadmio, la remoción de plomo (Pb^{2+}) mostró un comportamiento estrictamente lineal y ascendente en función de la dosis de adsorbente. La eficiencia de remoción se incrementó progresivamente, pasando del 88.47% en el tratamiento T1 (0.5 g) al 89.20% en T2 (1.0 g), hasta consolidar su punto óptimo en el tratamiento T3 (1.5 g) con una eficiencia máxima del 90.34% (0.38873 mg/L). Este incremento paulatino se encuentra sólidamente respaldado por la prueba post-hoc de Tukey, la cual corroboró que cada aumento en la dosificación del material generó subconjuntos estadísticamente independientes y diferenciados entre sí.

La remoción más alta y estable del plomo en comparación con el cadmio se fundamenta en la selectividad iónica planteada por Altamirano y Soto (2023). Al estudiar efluentes tratados con materiales calcáreos, los investigadores comprobaron que la estructura de la calcita nativa selecciona y atrae con mayor fuerza al ion Pb^{2+} . Esto se debe a que el plomo posee un radio iónico hidratado menor, lo que le permite penetrar los poros del adsorbente con mayor facilidad. Asimismo, la alta electronegatividad del plomo facilita

que forme enlaces muy estables. Como resultado, estos enlaces son más resistentes a las fuerzas que desprendían y aglomeraban al cadmio.

Para complementar este análisis, Gurav y Samant (2021) demuestran que el plomo divalente (Pb^{2+}) experimenta un fenómeno de quimisorción en la superficie del adsorbente. De este modo, los iones del metal establecen enlaces químicos directos con los grupos funcionales nitrogenados y oxigenados de la matriz biológica, lo que explica su alta resistencia a ser liberados. Estos ligandos forman complejos de coordinación sumamente estables que fijan al metal de manera rígida. Gracias a la alta energía de estos enlaces, el plomo no sufrió el desprendimiento (desorción) provocado por el choque entre partículas ni el bloqueo de poros por aglomeración que sí afectaron temporalmente al cadmio en la dosis de 1.0 g. Esto justifica teóricamente por qué la retención de plomo aumentó continuamente al incrementar la dosis del adsorbente.

Finalmente, las elevadas eficiencias que superaron el 90% de remoción de plomo en el tratamiento T3 (1.5 g) están estrechamente ligadas a los mecanismos de interacción superficial descritos por Segneanu et al. (2022) y De La Cruz y Quiroz (2020). De acuerdo con Segneanu et al. (2022), los componentes orgánicos del adsorbente capturan con rapidez el plomo libre gracias a la afinidad química de sus grupos aminoácidos. Por otro lado, De La Cruz y Quiroz (2020) señalan que, al emplear dosis altas, el mecanismo principal se transforma en una nucleación mineral superficial. Bajo este escenario, la presencia masiva de 1.5 g de adsorbente altera las condiciones microambientales de la solución, forzando un intercambio catiónico donde los iones de plomo (Pb^{2+}) reemplazan a los de calcio (Ca^{2+}) en la red cristalina del carbonato de calcio ($CaCO_3$). Este fenómeno provoca que el metal precipite en la superficie en forma de cristales de cerusita ($PbCO_3$), lo que garantiza una retención permanente y consolida una alternativa viable, de bajo costo y sostenible para mitigar este contaminante en las aguas del Río Coata.

Tabla 16: Discusión comparativa y fundamentos fisicoquímicos en la remoción de Pb^{2+} y Cd^{2+} con cáscara de huevo.

Parámetro Fenómeno observado	/ Resultado experimental de la Tesis	Autor de contraste	de Conclusión Validada	Fisicoquímica
Mayor remoción de plomo frente a cadmio	Pb (90.34%) > Cd (89.84%) en todos los niveles evaluados.	Altamirano Soto (2023); Gurav Samant (2021)	y y	El ion Pb^{2+} posee una electronegatividad superior y menor radio iónico hidratado, permitiéndole desplazar al Ca^{2+} de la calcita con mayor afinidad termodinámica.
Elevada capacidad de remoción a dosis iniciales (T_1)	Remoción significativa >84% con solo 0.5 g de adsorbente.	Segneanu al. (2022)	et	Activación inmediata de los sitios de quelación en los grupos amino y carboxilo de la membrana proteica de la cáscara de huevo.
Fluctuación y descenso de eficiencia de Cd en T_2	La eficiencia de Cd decayó del 84.08% (T_1 : 0.5 g) al 82.63% (T_2 : 1.0 g).	Fazal Rafique (2020); Annane et al. (2023)	y	Efecto de apantallamiento y aglomeración física de partículas. Las colisiones mecánicas por agitación provocaron una desorción transitoria del metal.
Optimización de la eficiencia en T_3	Máxima remoción lograda a una dosis de 1.5 g de adsorbente.	De La Cruz y Quiroz (2020); Annane et al. (2023)	y	Superación del umbral de agregación. Predominancia de la precipitación micro-superficial de fases minerales insolubles (cerusita y otavita).

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE HUEVO PARA IDENTIFICAR LA SUSTANCIA ACTIVA EN LA REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA.

En cumplimiento del Objetivo Específico 2, se procedió a determinar la composición química del material adsorbente (cáscara de huevo) mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX). Esta técnica permitió identificar las fases cristalinas presentes y, por ende, la sustancia activa responsable de los procesos de intercambio iónico y adsorción de metales pesados.

4.2.1. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA SUSTANCIA ACTIVA

El análisis realizado al Polvo de Cáscara de Huevo (PCH) revela un perfil de difracción con picos pronunciados y definidos, lo que indica una estructura altamente cristalina. Al contrastar los patrones de difracción obtenidos con las fichas estándar del International Centre for Diffraction Data (ICDD), se determinó que el componente predominante es el CaCO_3 en su fase mineralógica de Calcita, con una concentración del 94.50%. Los resultados y las concentraciones porcentuales en masa reportadas por el laboratorio se presentan de forma detallada en la siguiente tabla.

Tabla 17: Componentes químicos activos del polvo de cáscara de huevo (PCH) y su función en la retención de plomo y cadmio.

Componente	Fórmula	Concentración %	Función en la remoción
Carbonato de Calcio (Calcita)	CaCO_3	94.50%	Intercambio iónico directo con Ca^{2+} y precipitación de fases (cerusita y otavita).
Óxido de Magnesio	MgO	1.69%	Matriz de soporte inerte; aporta estabilidad estructural y porosidad.

Componente	Fórmula	Concentración %	Función en la remoción
Óxido de Calcio	CaO	1.23%	Precursor alcalino; eleva el pH local para facilitar la precipitación.
Carbonato de Magnesio	$MgCO_3$	1.20%	Adsorción superficial de cationes metálicos en sitios activos.
Fosfato Tricálcico	$Ca_3(PO_4)_2$	1.06%	Complejación superficial y atrapamiento químico por grupos fosfatos.
Hidróxido de Calcio	$Ca(OH)_2$	0.26%	Regulador micro-interfacial de pH (sistema buffer).
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	0.05%	Traza soluble; sin participación activa identificada.

Nota: Datos analíticos obtenidos a partir del Informe de Ensayo N° GCT-AQ-024 del Laboratorio GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L. (2026).

La estructura del $CaCO_3$ en el PCH presenta una porosidad natural y grupos funcionales carbonato que facilitan la retención de cadmio (Cd^{2+}) y plomo (Pb^{2+}). Al estar organizado como calcita, este mineral destaca por poseer una superficie con propiedades electrostáticas favorables y sitios de unión altamente activos, lo que le otorga una excelente capacidad para atraer y coordinar de manera eficiente estos metales pesados disueltos en el agua. En la Figura 6 se detalla la proporción de cada componente, evidenciando la elevada pureza del material adsorbente.

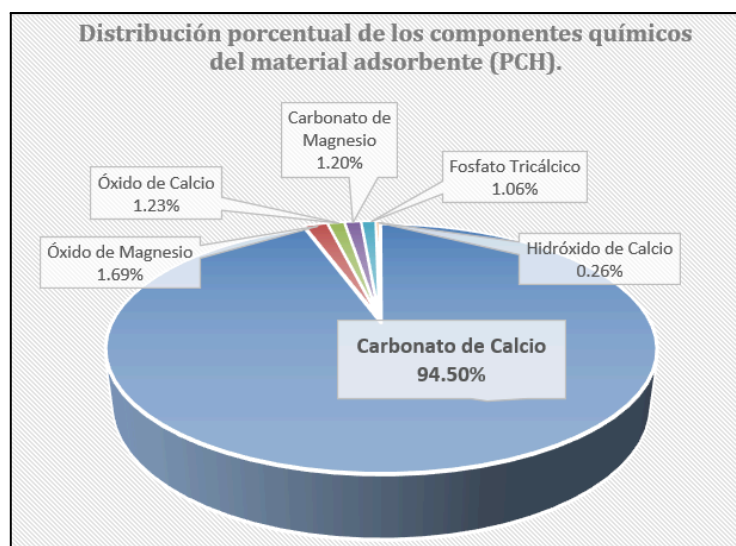


Figura 06: Análisis cuantitativo de la composición química del Polvo de Cáscara de Huevo.

Del mismo modo, el análisis detectó cantidades traza de carbonato de magnesio ($MgCO_3$, 1.20%) y fosfato tricálcico [$Ca_3(PO_4)_2$, 1.06%], los cuales destacan por poseer superficies altamente reactivas para la remoción de contaminantes. Estos componentes secundarios amplían los mecanismos de retención del plomo y el cadmio en la estructura del adsorbente. Por un lado, la presencia de fosfatos y magnesio favorece la fijación directa de los cationes metálicos mediante procesos de coprecipitación e intercambio iónico. Por otro lado, los óxidos de magnesio (MgO , 1.69%) y calcio (CaO , 1.23%), junto con el hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$, 0.26%], actúan como agentes reguladores de pH, proporcionando la alcalinidad necesaria en la solución acuosa para optimizar la eficiencia del proceso de adsorción.

4.2.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El hallazgo de un 94.50% de pureza en el carbonato de calcio ($CaCO_3$) bajo la fase calcita es una evidencia crucial que valida al desecho avícola como un bioadsorbente de alta efectividad. Este análisis se ve sólidamente respaldado por los hallazgos de Annane et al. (2023), quienes en su estudio sobre la eficiencia de la cáscara de huevo como adsorbente de bajo costo, evidenciaron que la capacidad de remoción del cadmio se

encuentra directamente vinculada a la disponibilidad de centros activos en la superficie del adsorbente.

El elevado nivel de pureza del material (94.50%) sugiere que los mecanismos de sorción guardan una estrecha correspondencia con el modelo de la isoterma de Langmuir. Como explican Annane et al. (2023), este modelo señala que el metal se atrapa formando una sola capa uniforme sobre la superficie, debido a que toda el área del material tiene la misma estructura y fuerza para atraer el contaminante.

Asimismo, la detección de fosfato tricálcico (1.06%) y carbonato de magnesio (1.20%) respalda los resultados de Segneanu et al. (2022). Estos autores explican que la notable eficiencia de la cáscara de huevo se ve potenciada por el efecto sinérgico de estos componentes secundarios. Dichos compuestos aportan sitios activos adicionales que complementan la acción de la calcita principal. De este modo, al alcanzarse la saturación de los centros de enlace de la calcita, el magnesio y los grupos fosfato intervienen directamente mediante mecanismos alternos, asegurando la continuidad del proceso de remoción de contaminantes en el sistema.

Por otro lado, al comparar estos datos con la investigación de Velásquez (2024), se observa una diferencia significativa en el mecanismo operativo del adsorbente. En dicho estudio se emplean sistemas híbridos que combinan la cáscara de huevo con otros materiales, lo cual genera interacciones químicas complejas y dependientes de múltiples variables debido a la heterogeneidad del medio filtrante. En cambio, la elevada concentración de calcita determinada en la presente investigación (94.50%) simplifica y optimiza la dinámica del sistema. Al tratarse de un material altamente homogéneo, los iones de metales pesados en solución se coordinan directamente en la superficie mediante la sustitución estequiométrica del calcio de manera predecible.

Esto valida por completo lo planteado por Annane et al. (2023), quienes afirman que la cáscara de huevo en su estado natural constituye un bioadsorbente eficiente y de bajo costo que no requiere de modificaciones químicas costosas ni de procesos complejos de

funcionalización, siempre que mantenga una matriz mineral rica en carbonatos como la reportada en este estudio.

Finalmente, la presencia de trazas de hidróxido de calcio (0.26%) actúa como un agente regulador de pH en la interfaz de reacción. Este factor es considerado por Annane et al. (2023) como una variable crucial, debido a que previene la solubilidad prolongada del cadmio en el medio acuoso, induciendo su transición hacia una fase sólida insoluble mediante procesos de precipitación química. De esta manera, el análisis químico del polvo de cáscara de huevo comprueba que la interacción de la calcita pura con estas fases minerales secundarias constituye la base fisicoquímica de su elevada capacidad adsorbtiva. Esto explica cómo se lograron remover más del 89% de cadmio y el 90% de plomo en las aguas inducidas en laboratorio del Río Coata, alcanzando eficiencias de depuración equiparables a las reportadas para otros adsorbentes naturales en investigaciones recientes.

4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: COMPARAR LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE CADMIO Y PLOMO EN LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON LA CONCENTRACIÓN FINAL DEL TRATAMIENTO CON CÁSCARA DE HUEVO.

Para consolidar la validez ambiental y el desempeño técnico del proyecto de investigación, se efectuó una evaluación comparativa detallada. En primer lugar, se evaluaron las concentraciones iniciales reales del Río Coata en el punto de muestreo (Puente Coata) frente a las concentraciones finales logradas tras el tratamiento con el polvo de cáscara de huevo (PCH). En segundo lugar, se realizó la contrastación normativa obligatoria con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, aplicando los límites de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Subcategorías D1 y D2), determinando las cantidades netas reducidas.

4.3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN NORMATIVA DEL CADMIO

El análisis inicial de las aguas del Río Coata reveló una concentración real de cadmio (Cd) de 0.01200 mg/L. Al comparar este dato con los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) para Agua bajo la Categoría 3, se comprobó que el cuerpo hídrico supera el límite máximo permitido para el riego de vegetales (ECA = 0.01000 mg/L); sin embargo, se mantiene por debajo del umbral establecido para la bebida de animales (ECA = 0.05000 mg/L). A pesar de esto último, superar los niveles de riego representa una amenaza directa para las actividades agropecuarias locales debido al riesgo de bioacumulación en la cadena alimentaria.

Tabla 18: Análisis comparativo de la remoción de cadmio (Cd) en condiciones experimentales y su proyección en el Río Coata frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Condición del Análisis	Concentración Inicial de Cadmio (Cd)	Cantidad Neta Removida	Eficiencia de Remoción (T3)	Concentración Final (Efluente)	Cumplimiento Normativo: ECA Categoría 3(Riego: 0.010 mg/L / Bebida: 0.050 mg/L)
Prueba					No cumple
Experimental (Laboratorio)	3.98752 mg/L	3.58227 mg/L	89.84%	0.40525 mg/L	(Saturación provocada por carga inducida).
Escenario					SÍ CUMPLE
Real	0.01200 mg/L	0.01078 mg/L	89.84%	0.00122 mg/L	(Se sitúa muy por debajo de ambos límites).
Proyectado (Río Coata - Puente Coata)					

Nota: Los valores del escenario real corresponden a una estimación matemática basada en la concentración inicial del Río Coata y la tasa de remoción experimental del 89.84%.

ECA: Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Los datos de la Tabla 18 muestran que el efluente final con mayor desempeño (1.5 g de PCH) del ensayo de laboratorio (0.40525 mg/L) supera los límites normativos debido a que el Polvo de Cáscara de Huevo (PCH) fue expuesto intencionalmente a una concentración crítica muy elevada (3.98752 mg/L). No obstante, al aplicar la alta eficiencia del material (89.84%) sobre las concentraciones naturales registradas en el Río Coata (0.01200 mg/L), el nivel de cadmio residual estimado disminuye a 0.00122 mg/L. Dicha proyección se sitúa muy por debajo de los límites permitidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Categoría 3), lo que consolida al PCH como una alternativa tecnológica viable y eficaz para la remediación de este cuerpo hídrico.

4.3.2. ANÁLISIS COMPARATIVO Y EVALUACIÓN NORMATIVA DEL PLOMO

En lo que respecta al plomo (Pb), el análisis inicial de las muestras de agua recolectadas directamente en el Río Coata reveló una concentración de 0.06000 mg/L. Al contrastar este valor real con los parámetros legales del D.S. N° 004-2017-MINAM, se identificó una situación ambiental crítica. Los resultados demuestran que el río supera en un 20% el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fijado para el riego de vegetales (0.05000 mg/L). Paralelamente, el contenido del metal ya ha superado el estándar restrictivo establecido para la subcategoría de Bebida de animales (0.05000 mg/L). Esta condición representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria de los sectores agrícolas colindantes que dependen de este recurso hídrico.

Tabla 19: Análisis comparativo de la remoción de plomo (Pb) en condiciones experimentales y su proyección en el Río Coata frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Condición del Análisis	Concentración Inicial de Plomo (Pb)	Cantidad Neta Removida	Eficiencia de Remoción (T3)	Concentración Final (Efluente)	Cumplimiento Normativo: ECA Categoría 3 (Riego: 0.010 mg/L / Bebida: 0.050 mg/L)
Prueba					No cumple
Experimental (Laboratorio)	4.02347 mg/L	3.63481 mg/L	90.34%	0.38866 mg/L	(Saturación provocada por carga inducida).
Escenario					SÍ CUMPLE
Real	0.01200 mg/L	0.05421 mg/L	90.34%	0.00579 mg/L	(Se sitúa muy por debajo de ambos límites).
Proyectado (Río Coata - Puente Coata)					

Nota. Los valores del escenario real representan una proyección matemática fundamentada en el porcentaje fijo de retención (90.34%) alcanzado en la fase experimental, aplicada a la concentración inicial registrada en el Río Coata. ECA: Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Como se detalla en la Tabla 19, el tratamiento T3 (1.5 g de PCH) logró una eficiencia de remoción de plomo del 90.34%. Aunque en el ensayo de laboratorio el efluente final (0.38866 mg/L) superó los límites normativos por efecto de una alta carga inicial inducida, la proyección de esta misma capacidad sobre las condiciones reales del Río Coata

demuestra el verdadero potencial del adsorbente. En un escenario proyectado, la concentración inicial de 0.06000 mg/L disminuye drásticamente a 0.00579 mg/L. Este residuo final se ubica un 88.4% por debajo del límite para bebida de animales (0.05000 mg/L) y logra satisfacer plenamente el límite establecido para riego de vegetales (0.01000 mg/L) según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, asegurando la aptitud del agua tratada para fines agropecuarios.

4.3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comparación entre las concentraciones iniciales y finales confirma que el polvo de cáscara de huevo posee una elevada capacidad de remoción. Asimismo, exhibe una cinética de adsorción acelerada y una alta afinidad química, manteniendo una óptima capacidad de retención incluso ante concentraciones críticas del contaminante.

De este modo, supera a los adsorbentes naturales convencionales evaluados por De La Cruz & Quiroz (2020), debido a que la optimización del tratamiento mecánico y térmico eliminó las barreras físicas en los macroporos del material, facilitando la difusión rápida de los metales.

Finalmente, se demostró estadísticamente que, al aplicar las eficiencias de laboratorio (89.84% para Cd y 90.34% para Pb) a las concentraciones reales del Río Coata, los niveles finales disminuyen drásticamente por debajo de los límites del D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 3), validando la aptitud del agua tratada para el riego y la bebida de animales.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se concluye que la dosis más eficiente de polvo de cáscara de huevo (PCH) es de 1.5 g (Tratamiento 3), condición con la que se alcanzaron los niveles máximos de remoción: 89.84% para el cadmio (Cd) y 90.34% para el plomo (Pb). Estos resultados demuestran de forma clara que a mayor masa de adsorbente aplicada, se incrementa de manera directa la tasa de descontaminación del agua.

SEGUNDA: El análisis de Difracción de Rayos X (DRX) demostró que el componente principal del material es el carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de calcita, con una alta pureza del 94.50%. También se hallaron pequeñas cantidades de carbonato de magnesio (1.20%) y fosfato de calcio (1.06%). Esta combinación mineral regula la acidez del agua y activa procesos de intercambio químico que atrapan el plomo y el cadmio, precipitándolos de manera permanente en compuestos sólidos y estables conocidos como cerusita y otavita.

TERCERA: El análisis demostró que las aguas del Río Coata superan inicialmente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), con concentraciones de 0.01200 mg/L de cadmio y 0.06000 mg/L de plomo. Aunque la prueba extrema de laboratorio saturó el material, aplicar de forma proyectada las eficiencias obtenidas en torno al 90% sobre el caudal real del río reduciría los residuos a 0.00122 mg/L de cadmio y 0.00579 mg/L de plomo. Ambos valores se ubican muy por debajo de los límites máximos permitidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), lo que valida la viabilidad ecológica y la eficacia de esta alternativa biotecnológica.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. A las municipalidades distritales de la cuenca del Río Coata y al Gobierno Regional de Puno: Implementar y cofinanciar proyectos de inversión pública destinados a la construcción de plantas piloto de tratamiento que empleen biofiltros basados en polvo de cáscara de huevo. Debido a que la dosis de 1.5 g (Tratamiento 3) demostró la mayor eficiencia, alcanzando tasas de remoción del 89.84% en cadmio y 90.34% en plomo. Se recomienda priorizar el escalamiento de este método de remediación de bajo costo en los sectores de mayor impacto hídrico, para reducir de manera sustancial la carga de metales pesados detectada en el cuerpo de agua.

SEGUNDA. A las entidades de fiscalización ambiental (OEFA y la Autoridad Nacional del Agua - ANA): Establecer un programa de monitoreo periódico y especializado de la calidad del agua en la cuenca, ampliando el alcance de futuras investigaciones hacia el análisis de sedimentos y la especiación química de los metales. Puesto que el componente activo del adsorbente es el carbonato de calcio en fase de calcita (94.50%), se sugiere realizar evaluaciones trimestrales complementarias que midan de forma simultánea el plomo, el cadmio, el pH y la alcalinidad, con el fin de validar en campo los mecanismos de quimisorción y el efecto tampón propuestos en la presente investigación.

TERCERA. A las asociaciones de productores agropecuarios de la cuenca del Río Coata: Impulsar jornadas de capacitación práctica sobre el manejo de la calidad del agua y la autogestión de tecnologías de tratamiento de bajo costo. Considerando que las concentraciones naturales del río (0.01200 mg/L de Cd y 0.06000 mg/L de Pb) exceden las normativas legales vigentes, se sugiere diseñar junto a la comunidad científica filtros comunitarios cargados con polvo de cáscara de huevo. Esta intervención permitirá

adecuar el recurso hídrico para el sector agropecuario según las exigencias de la Categoría 3, previniendo así la acumulación de metales en los cultivos y el ganado y protegiendo la salud pública de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Abatan, O. G., Alaba, P. A., Oni, B. A., Akpojevwe, K., Efeovbokhan, V., & Abnisa, F. (2020). Performance of eggshells powder as an adsorbent for adsorption of hexavalent chromium and cadmium from wastewater. *SN Applied Sciences*, 2(12), 1996. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03866-w>
- Abdullah, B., Muhammad, A.-M., & Tawfik, S. (2020). Eliminación de metales mediante cáscaras de huevo modificadas químicamente: Preparación, caracterización y análisis estadístico—ScienceDirect. 173, 313-330.
- Aguilar, P., & Olmos, D. A. (2022). Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. *Herreriana*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.29057/h.v4i1.8630>
- Al, J. C. Q. M. et. (2021). Incidence of Contamination of Water Resources in the Development of Livestock Activities in the Lower Area of the Coata River Watershed, Peru. *INFORMATION TECHNOLOGY IN INDUSTRY*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.17762/itii.v9i1.176>
- Altamirano, J. J., & Soto, Y. Y. (2023). Remoción de cadmio de las aguas del Río Llaucano aplicando cáscara de huevo pulverizado. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138368>
- ANA. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua Ica-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2440>
- ANA, 2016. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. *Drupal*. <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Annane, K., Lemlikchi, W., & Tingry, S. (2023). Efficiency of eggshell as a low-cost adsorbent for removal of cadmium: Kinetic and isotherm studies. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(7), 6163-6174. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01619-2>

- Aquae Fundación. (2021, diciembre 12). La importancia del agua en los seres vivos. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/>
- Arshad, M. F., Zailani, W. W. A., Ismail, N., Zainol, M. R. R. M. A., Abdullah, M. M. a. B., & Tahir, M. F. M. (2021). Eggshell Powder (ESP) as low-cost adsorbent for wastewater treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1960(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1960/1/012021>
- Bedoya S. A., Valencia M. S., Bedoya E. A., & Valencia M. S. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): Una revisión sistemática. *Revista colombiana de ciencia animal recia*, 12(2), 106-116. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>
- Beltrán, N., González, Y. M., & Hernández, L. J. (2021). Estudio para el desarrollo de un biomaterial de cáscara de huevo [Bachelor Thesis, Ingeniería Química]. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/10786>
- Boss Tech. (2018, junio 1). Tratamiento de agua contaminada con metales pesados | Blog. <https://bosstech.pe/tratamiento-agua-contaminada-metales-pesados/>
- Cabrera, O. (2021, marzo 19). La cáscara de huevo: Estructura, formación y calidad. aviNews, la revista global de avicultura. <https://avinews.com/la-cascara-de-huevo-estructura-formacion-que-factores-afecta-n-a-su-calidad/>
- Calderón, M. C. M. (2023). El Agua Dulce, un recurso geoestratégico visto desde la perspectiva de la hidropolítica. *Multiverso journal*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.46502/issn.2792-3681/2023.4.2>
- Callasaca, R. A., Larico, C. J., Fernandez, D. L., Alanoca, R. C., Cahua, J. L., & Choquecota, J. Q. (2022). Variación de la calidad del agua del río Coata según el Ica-Perú por fuentes contaminantes. *Cátedra Villarreal*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.24039/cv20221011189>
- Calvache, G. A. (2022). Estudio comparativo de dos sistemas de filtrado a base de residuos orgánicos de huevo y naranja para la retención de cromo hexavalente

(Cr+6) de soluciones acuosas.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17608>

Casiano, Y. P., García, B. del C. A., García, Y. C. R., & Pérez, M. L. A. (2023). Economía circular en el uso de la cáscara de huevo como bioresiduo. *Publicaciones e Investigación*, 17(4), Article 4. <https://doi.org/10.22490/25394088.7501>

Chirinos, D., Castro, J., Ríos, E., Mamani, G., Quijada, E., Huacho, A., & Nuñez, W. (2022). Lead and Cadmium Bioaccumulation in Fresh Cow's Milk in an Intermediate Area of the Central Andes of Peru and Risk to Human Health. *Toxics*, 10, 317. <https://doi.org/10.3390/toxics10060317>

Cornejo, D., Sucari, W., Belizario, G., & Cornejo, K. (2023). La contaminación por metales potencialmente tóxicos de sedimentos del río Coata, Puno, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 11, 17-28. <https://doi.org/10.22386/ca.v11i1-2.383>

Correa Cuba, O., Fuentes Bernedo, F. E., Coral Surco, R. G., Correa Cuba, O., Fuentes Bernedo, F. E., & Coral Surco, R. G. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray—Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26-38. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>

Custodio, M., Cuadrado, W., Peñaloza, R., Montalvo, R., Ochoa, S., & Quispe, J. (2020). Human Risk from Exposure to Heavy Metals and Arsenic in Water from Rivers with Mining Influence in the Central Andes of Peru. *Water*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/w12071946>

De La Cruz, J. R., & Quiroz, H. M. (2020). Revisión sistemática y meta-análisis sobre la eficiencia de cáscaras naturales en la remoción de Pb, Cd, Cu y Cr en aguas contaminadas. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63723>

Duany, S., Arias, T., Bessy, T., & Rodríguez, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales pesados. *Revisión. Tecnología Química*, 42(1), 94-113.

Fazal, A., & Rafique, U. (2020). Modelling and appraisal of cadmium removal from water

- by sustainable bio-waste of hen egg shells. *International Journal of Environment and Waste Management*, 26(1), 102-116.
<https://doi.org/10.1504/IJEW.2020.108065>
- Flores, M. M. (2019). "Capacidad de Remoción de Cadmio Mediante Bioadsorbente de Tarwi (*Lupinus Mutabilis* Sweet), de las aguas del río San Antonio de Esquilache Puno – Perú" [Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_9e98a6228e3099d473675e01990b9f07
- Forruque, S., Kumar, S., Mahtabin, R., Tasnim, A., Nuzhat, S., Rafa, N., Mahlia, T., & Chyuan, H. (2022). Heavy metal toxicity, sources, and remediation techniques for contaminated water and soil. *Environmental Technology & Innovation*, 25, 102114.
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102114>
- Gamboa, N. (2021). La presencia de los metales pesados en los cuerpos de aguas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), Article 3.
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.355>
- Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Gurav, V., & Samant, R. (2021). Application of Waste Egg Shell for Adsorption of Cd(II) and Pb(II) Ions to Protect Environment: Equilibrium, Kinetic and Adsorption Studies. *Oriental Journal Of Chemistry*, 37, 128-135.
<https://doi.org/10.13005/ojc/370117>
- Haider, F. U., Liqun, C., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., & Farooq, M. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111887.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Heredia, D. R. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4), Article 4.
<https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3702>

- Huarcaya, J. F. (2023). Evaluación de la capacidad de remoción de plomo del relave sector A FIGMM UNI, utilizando cáscaras de huevo natural y calcinada de gallina-Biochar, Lima-2023. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/28392>
- IGP. (2022, marzo 22). IGP recuerda la importancia del agua. <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/593963-igp-recuerda-la-importancia-del-agua>
- Khaskheli, M. A., Abro, M. I., Chand, R., Elahi, E., Khokhar, F. M., Majidano, A. A., El Aaoud, E. H., & Rekik, N. (2021). Evaluating the effectiveness of eggshells to remove heavy metals from wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 216, 239-245. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26807>
- López, M. Á., González, G., Posadas, C., & Castellanos, O. P. (2024). Tratamiento para aguas contaminadas con metales pesados Una revisión.
- Matamet, J. A. M. (2022). Determinação dos índices de enriquecimento e geoacumulação de ZN, CU e CO nos sedimentos do rio Coata, região Puno-Peru. <http://hdl.handle.net/11449/238674>
- Mesias Evangelista, A. M. (2019). Aplicación de cascara de huevo calcinada para la remoción de metales pesados en soluciones acuosas. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2449>
- Mignardi, S., Archilletti, L., Medeghini, L., & De Vito, C. (2020). Valorization of Eggshell Biowaste for Sustainable Environmental Remediation. *Scientific Reports*, 10(1), 2436. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59324-5>
- MINAM. (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero | SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-mejoramiento-calidad-agua-nivel-casero>
- Muhammad, B., Ihsanullah, I., Mohammad, Y., & Mansoor, H. S. (2021). Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review. *Separation and Purification Technology*, 278, 119510.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119510>

Niño de Guzmán, A. (2024, julio 12). Este es el río Coata, un lugar donde se respira muerte. El Comercio.

<https://elcomercio.pe/peru/rio-coata-un-lugar-donde-se-respira-muerte-lago-titicaca-puno-juliaca-noticia/>

Oliveira, R., Ramos Estevam, B., Dias Perez, I., Santos Ribeiro, V., & Freire Boina, R. (2022). Eggshell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. Cleaner Chemical Engineering, 2, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100023>

ONU. (2022, diciembre 15). La salud de diez millones de peruanos está en riesgo por el envenenamiento del agua con sustancias tóxicas | Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2022/12/1517512>

Organization, W. H. (2023). Exposure to lead: A major public health concern. Preventing disease through healthy environments. World Health Organization.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., Gallo, J. A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020a). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. Entre Ciencia e Ingeniería, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>

Quispe Pampa, M. A. (2021). Uso de la cascara de plátano (*Musa Paradisiaca*) y naranja (*Citrus Cinensis*), para la reducción de arsénico en aguas subterráneas, de la urbanización Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Puno, 2021. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91048>

Quispe, R. F., Belizario, G., Chui, H. N., Huaquisto, S., Calatayud, A. P., & Yábar, P. S. (2019a). Concentración de metales pesados: Cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. Revista Boliviana de Química, 36(2), 83-90.

Rodríguez, J. R., Castillo, A. R., Verástegui, H. A., & Pérez, A. P. (2025). Bioindicadores y contaminación por metales pesados en lagunas altoandinas peruanas: Un

- enfoque limnológico. Innovaciencia, 13(1).
<https://doi.org/10.15649/2346075X.4951>
- Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., Moreno, L. A., Salas-Salvadó, J., Maraver, F., Rodríguez-Mañas, L., Sáenz de Pipaon, M., Vitoria, I., & Moreno, L. A. (2020). Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: Situación actual. *Nutrición Hospitalaria*, 37(5), 1072-1086. <https://doi.org/10.20960/nh.03160>
- Sanez, M. F. F., García, A. R. M., & Soto, K. K. E. (2024). Efectos Tóxicos y Comparación de las NOM de Metales Pesados en Agua con Normas Internacionales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), Article 1. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9847
- Sarria, R. A., Gallo, J., & Benítez, R. (2020). Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. Caso Cromo y Mercurio. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 12, 94-109. <https://doi.org/10.46571/JCI.2020.1.8>
- Segneanu, A.E., Marin, C. N., Vlase, G., Cepan, C., Mihailescu, M., Muntean, C., & Grozescu, I. (2022). Highly efficient engineered waste eggshell-fly ash for cadmium removal from aqueous solution. *Scientific Reports*, 12(1), 9676. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13664-6>
- SENAMHI. (2016). Oferta hídrica superficial del río Coata—Puno bajo escenarios de cambio climático. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/117>
- Toledo, F. J. (2021). Revisión sistemática: Tecnologías de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados para su aplicación en el ámbito social, 2021. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73290>
- Vallejo, J., & Osorno, L. (2021). Evaluación del efecto de la adición de cáscaras de huevo en suelos ácidos. Vallejo, J. & Osorno, L. (2021). Evaluación del efecto de la adición de cáscaras de huevo en suelos ácidos. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/20.500.12749/22820>.

<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/22820>

Velásquez, M. R. (2024). Biofiltro a base de cáscara de huevo y cálices de *Physalis* peruviana L., para el tratamiento de agua con metales pesados. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8691>

Zaimee, M. Z. A., Sarjadi, M. S., & Rahman, M. L. (2021). Heavy Metals Removal from Water by Efficient Adsorbents. *Water*, 13(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/w13192659>

Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., & Yao, X. (2020). Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00925. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>

Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), Article 4. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

Zúñiga, S. (2022). Métodos de remoción de metales en aguas para consumo humano: Una revisión. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.2.3.1>

ANEXOS

Anexo 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA: Remoción de cadmio y plomo de las aguas del río Coata con cáscara de huevo en laboratorio, 2025.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
General: ¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de huevo en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata en laboratorio, 2025? Específicos: ¿Cuál es la concentración de cáscara de huevo más eficiente para la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata en laboratorio? ¿Cuál es la composición química de la cáscara de huevo que actúa en la remoción del cadmio y plomo en las aguas del río Coata? ¿Cuál es la concentración inicial de cadmio y plomo en las aguas del río Coata y al final del tratamiento con cáscara de huevo?	General: Determinar la eficiencia de la cáscara de huevo en la remoción de cadmio y plomo de las aguas del río Coata en laboratorio, 2025. Específicos: Determinar la concentración de cáscara de huevo más eficiente en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata. Determinar la composición química de la cáscara de huevo para identificar la sustancia activa en la remoción de Cadmio y Plomo en las aguas del río Coata. Comparar la concentración inicial de cadmio y plomo en las aguas del río Coata con la concentración final del tratamiento con cáscara de huevo.	General: La cáscara de huevo aplicada en aguas del río Coata es efectiva en la remoción de Cadmio y Plomo en laboratorio, 2025. Específicas: La aplicación de diferentes concentraciones de cáscara de huevo determina la dosis más eficiente en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata. Conociendo la composición química de la cáscara de huevo permite identificar la sustancia activa en la remoción de cadmio y plomo en las aguas del río Coata. La concentración de cadmio y plomo disminuye en las aguas del río Coata al final del tratamiento con cáscara de huevo en comparación a la concentración inicial.	Variable Independiente Cáscara de huevo Variable Dependiente Remoción de cadmio y plomo de las aguas	Dosis (0.5 gr - 1 gr - 1.5 gr) Tiempo (20 min) % de remoción de cadmio % de remoción de plomo	Enfoque: Cuantitativo Tipo: Descriptivo Diseño: Experimental Población: El agua del río Coata - Puno Muestra: Dos muestras integradas (3L c/u aprox) Muestreo: No probabilístico Diseño estadístico: Diseño inferencial diseño completo al azar (DIA) con 4 tratamientos y dos repeticiones

Anexo 02: Dosis de polvo de cáscara de huevo

Repeticiones	TRATAMIENTOS			
	T0 (0g PCH)	T1 (0.5g PCH)	T2 (1g PCH)	T3 (1.5g PCH)
	T0 (0 g PCH)	T3 (1.5g PCH)	T2 (1g PCH)	T1 (0.5g PCH)

Nota: Polvo de Cáscara de Huevo (PCH)

Anexo 03: Tabla ANOVA GL Sumatoria de cuadrados (SC) Cuadrados medios (CM) Fc.

Ft. Significancia 5% Tratamiento

	GL	Sumatoria de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Fc.	Ft.	Significancia 5%
Tratamiento						
Error						
Total						

"F" calculada $F_c = \frac{CM_{Tratamientos}}{CM_{Error}}$

- Si $F_c > 1$, significa que CM de tratamientos es mayor que los CM del error
- Si $F_c = 1$, significa que CM de tratamientos es igual que los CM del error
- Si $F_c < 1$, significa que CM de tratamientos es menor que los CM del error

CV = desviación estándar / media aritmética x 100

Prueba de Tukey

$$DMS_{Tukey} = q_{(t; \delta_e) \alpha} \cdot \sqrt{\frac{CMEE}{r}}$$

Dónde:

DMS= comparador para el par de tratamientos ij

q = valor de la tabla de Tukey, con grados de libertad de tratamientos y grados de libertad del error

CME = cuadrado medio del error

r = son las repeticiones de los tratamientos.

Anexo 04: Normativa Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3:

Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Anexo 05: Resultados experimentales de la calidad inicial de las aguas del río Coata.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
RUC: 20601612616

CODIGO DE INFORME
GCT - EAA - 014
página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO
ANALISIS DE AGUA
(Metales Totales ICP MS/Method 200.8, Rev.5.4 1994)

PROYECTO : REMOCION DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO COATA CON CASCARA DE HUEVO EN LABORATORIO 2024

SOLICITANTE : BACH. WYNY MISHELE HUALLPA ZURITA

UBICACIÓN : PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

F. INGRESO : 2025-12-03

F. EMISION : 2025-12-29

EMITADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Fecha de ensayo : 2025-12-03 a: 2025-12-29

Descrip. Material : En buen estado de conservacion y preservacion

Procedencia : Puente coata

Coordenadas UTM : E: 397479.00 m
N: 8279365.00 m

Producto : Muestra Patrón

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Metales Totales ICP-MS				
Cadmio (%)	mg/L	0.00010	0.00010	0.01200
Promo (%)	mg/L	0.00003	0.00080	0.05000

L.C.M. : Limite de cuantificación del metodo, "<" = Menor que el L.C.M.

L.D.M. : Limite de detección del metodo, "<" = Menor que el L.D.M.



GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
[Firma]
Ing. Raul Murado Guinandilla
CIP: 134130

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.

Queda terminantemente prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

El laboratorio no es responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA - CONSTRUCCION - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISION - SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1723 - Juliaca (Ref. ex oveto salida cusco) • Correo: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com

Teléfono: 051 828588 / 051 010447 / 051 671569 • www.geocontroltotal.com.pe

Anexo 06: Resultados del análisis de la muestra preparada mediante inducción controlada.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
RUC: 20601612616

CODIGO DE INFORME
GCT - EAA - 015
Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO
ANALISIS DE AGUA
(Metales Totales ICP MS/Method 200.6, Rev 5.4 1094)

PROYECTO : REMOCION DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO COATA CON CASCARA DE HUEVO EN LABORATORIO 2024

SOLICITANTE : BACH. WYNY MISHELE HUALLPA ZURITA

UBICACIÓN : PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

F. INGRESO : 2025-12-03

F. EMISION : 2025-12-26

ENSAYADO EN: LABORATORIO DE GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Fecha de ensayo	2025-12-03 al 2025-12-29			
Descripción Material	En buen estado de conservación y preservación			
Procedencia	Punto Coata			
Coordenadas UTM	E: 337479.00 m			
WGS 84	N: 8273938.00 m			
Producto	Muestra Patrón			

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	I.C.M.	RESULTADOS
Metales Totales (CP MS)				
Cadmio (*)	mg/L	0.00010	0.00010	3.98752
Plobo (*)	mg/L	0.00080	0.00080	4.02354

L.C.M. : Límite de cuantificación del método. " $<$ " = Menor que el L.C.M.
L.D.M. : Límite de detección del método. " $<$ " = Menor que el L.D.M.



GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
Ing. Rocío Miranda Quintanilla
CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
Esta terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
El laboratorio no es responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí expresados.

INGENIERIA

CONSTRUCCION

CONTROL DE CALIDAD

SUPERVISION

SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1720 - Juliaca (Ref. ex-ciclo se ida cusco) - Correo: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com
Teléfono: 051 828563 / 051 010447 / 051 571558 - www.geocontroltotal.com.pe

Anexo 07: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 0.5 g de cáscara de huevo (dos repeticiones).



Contratistas Generales
GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L.
Ingeniería - Construcción - Control de Calidad

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
RUC: 20601612616

INFORME DE ENSAYO
ANALISIS DE AGUA
(Metales Totales ICP MS/Method 200.8, Rev.5.4 1994)

PROYECTO : REMOCION DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO COATA CON CASCARA DE HUEVO EN LABORATORIO 2024

SOLICITANTE : BACH. WYNY MISHELE HUALLPA ZURITA

UBICACIÓN : PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

Fecha de ensayo : 2025 - 12 - 03 al 2025 - 12 - 29

Descrip. Material : En buen estado de conservación y preservación

Procedencia : Puente Coata

Coordenadas UTM : E: 397479.00 m
N: 6276308.00 m

Producto : Vuestra Patrón = 0.5 gramos de cáscara en 20 min de Remoción

CODIGO DE INFORME
GCT - EAA - 016
Página 1 de 1

F. INGRESO : 2025-12-03
F. EMISION : 2025-12-29
ELABORADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Rep 1	Rep 2
Metales Totales ICP-MS					
Cadmio (*)	mg/L	0.00010	0.00010	0.63483	0.63481
Plomo (*)	mg/L	0.00080	0.00080	0.46375	0.46372

L.C.M. : Límite de cuantificación del método, "c" = Menor que el L.C.M.
L.D.M. : Límite de detección del método, "c" = Menor que el L.D.M.



GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L.
Rafael Huallpa Zurita
Ing. Rafael Huallpa Zurita
CIP: 131480

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
Esta tiene estrictamente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
El informante no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA - CONSTRUCCION - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISION - SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1725 - Juliaca (Ref. ex ovalo salida causal) - Dpto. Puno
Teléfonos: 051-328588 / 051-310447 / 051-671505 - www.geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com

Anexo 08: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 1.0 g de cáscara de huevo (dos repeticiones)

 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES RUC: 20601612616		CODIGO DE INFORME GCT - EAA - 017 página 1 de 1			
INFORME DE ENSAYO ANALISIS DE AGUA (Metodos Totales ICP-MS/Method 200.3, Rev.A.4 1994)					
PROYECTO :	REMOCION DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RIO COATA CON GASCARA DE HUEVO EN LABORATORIO 2024				
SOLICITANTE :	BACH. WYNNY MISHELE HUALLPA ZURITA				
UBICACIÓN :	PUNO - SAN ROMAN - JULIACA				
Fecha de ensayo : 2025 - 12 - 03 al 2025 - 12 - 29 Descrip. Material : En buen estado de conservación y preservación Procedencia : Puente coata Coordenadas UTM : E: 387470.00 m VGS 84 : N: 8276368.00 m Producto : Muestra Patrón + 1.0 gramos de cáscara en 20 min de Remoción		F. INGRESO : 2025-12-03 F. EMISION : 2025-12-29 ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Rep 1	Rep 2
Metales Totales ICP-MS					
Cadmio (*)	mg/L	0.00010	0.00010	0.59273	0.68271
Plomo (*)	mg/L	0.00080	0.00080	0.43473	0.43471
L.C.M. : Límite de cuantificación del método, "*" = Menor que el L.C.M. L.D.M. : Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.D.M.					
 Ing. Raul Miranda Quintanilla CIP: 134450					
Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada. Esta conformidad prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L. El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados por el cliente.					
INGENIERIA - CONSTRUCCION - CONTROL DE CALIDAD - SUPERVISION - SEGURIDAD EN OBRA Dirección: Av. Circunvalación N° 1725 - Juliaca (Ref. ex voto calida agua) Correo: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com Teléfonos: 051-3285988 / 951 310447 / 951 871588 - www.geocontroltotal.com.pe					

Anexo 09: Resultados experimentales de remoción de cadmio y plomo con la aplicación de 1.5 g de cáscara de huevo (dos repeticiones)



Contratistas Generales
GeoCONTROL TOTAL E.I.R.L.
Ingeniería - Construcción - Control de Calidad

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
RUC: 20601612616

INFORME DE ENSAYO
ANALISIS DE AGUA
(Metales Totales (CP-MS/Method 200.8, Rev.5.4 1994))

PROYECTO : REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON CÁSCARA DE HUEVO EN LABORATORIO 2024

SOLICITANTE : BACH. WYNNY MISHELE HUALLPA ZURITA

UBICACIÓN : PUNO - SAN ROMAN - JULIACA

CODIGO DE INFORME
GCT - EAA - 018
página 1 de 1

F. INGRESO : 2025-12-03
F. EMISIÓN : 2025-12-29
ENSAYADO EN: LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Fecha de ensayo : 2025 - 12 - 03 al 2025 - 12 - 29

Descrip. Material : En buen estado de conservación y preservación

Procedencia : Puente coata

Coordenadas UTM : E 397479.00 m
N 8278338.00 m

Producto : Muestra Patrón + 1.5 gramos de cáscara en 20 min de Remoción

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	Rep 1	Rep 2
Metales Totales (CP-MS)					
Cadmio (*)	mg/L	0.00010	0.00010	0.40526	0.40523
Plomo (*)	mg/L	0.00080	0.00080	0.38872	0.38374

L.C.M. : Límite de cuantificación del método, "<" = Menor que el L.C.M.
L.D.M. : Límite de detección del método, "<" = Menor que el L.D.M.



Ing. Renil Miranda Quintanilla
CIP: 134890

Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
Esta certificación prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
El laboratorio no es responsable del mal uso ni la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERÍA CONSTRUCCIÓN CONTROL DE CALIDAD SUPERVISIÓN SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1729 - Juliaca (Ref. ex ovo selido cusco) • Correo: info@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com
Teléfono: 051 328586 / 051 070447 / 051 621868 www.geocontroltotal.com.pe

Anexo 10: Resultados del análisis de composición química del polvo de cáscara de huevo mediante difracción de rayos X



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES
RUC: 20601612616

GEOTECNOLOGIA
RUT - AQ - 194
Pag. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS QUÍMICO

PROYECTO : REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE LAS AGUAS DEL RÍO COATA CON CÁSCARA DE HUEVO EN LABORATORIO, 2024

UBICACIÓN : PUNO - PUNO - PUNO

SOLICITA : DACCII, I JALLPA ZURITA WINY MISICILE

FECHA INGRESO : 2025-01-15

FECHA EMISSION : 2025-02-25

ENSAYADO EN : LABORATORIO GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.

Muestra : Polvo de cáscara de huevo	Color : BLANCO	Fecha ensayo : 2025-02-25
Nº de Muestra : M-1	Aspecto : POLVO	

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICA

Análisis por difracción de rayos X	Fórmula	Unidad	Resultado
Silicato tricalcico <M1>	C ₃ S <M1>	%	0.00
Silicato tricalcico	C ₃ S	%	0.00
Silicato bicalcico	C ₂ S	%	0.00
Silicato bicalcico - beta	C ₂ S	%	0.00
Aluminato tricalcico - cubico	C ₃ A	%	0.00
Fosfato tricalcico	Ca ₃ (PO ₄) ₂	%	1.06
Oxido de calcio	CaO	%	1.23
Hidroxido de calcio	Ca(OH) ₂	%	0.26
Oxido de magnesio	MgO	%	1.69
Carbonato de magnesio	MgCO ₃	%	1.29
Carbonato calcico	CaCO ₃	%	94.50
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	%	0.05
Langbeinita	K ₂ Mg(SO ₄) ₂	%	0.09
Aphthitalite	(K,Na) ₂ Na(SO ₄) ₂	%	0.00
Sulfato calcico Dihidratado	CaSO ₄ · 2H ₂ O	%	0.03
Bassanite	CaSO ₄ · 1/2 H ₂ O	%	0.00
Sulfato calcico	CaSO ₄	%	0.01

OBSERVACIONES:

* Muestras ensayadas en laboratorio.



Los resultados reflejados en este informe solo están relacionados a la muestra ensayada.
Esta terminantemente prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización expresa de GEOCONTROL TOTAL E.I.R.L.
El laboratorio no se hace responsable del mal uso ni de incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

INGENIERIA

CONSTRUCCIÓN

CONTROL DE CALIDAD

SUPERVISIÓN

SEGURIDAD EN OBRA

Dirección: Av. Circunvalación N° 1728 - Juliaca (Ref. ex ovalo edificio buson)
Teléfono: 051 823639 / 051 010447 / 051 871659
Correos: informes@geocontroltotal.com / geocontroltotal@gmail.com
www.geocontroltotal.com.pe

Anexo 11: Registro fotográfico.



Figura 07: Toma de muestra de agua en el punto PM-1



Figura 08: Toma de muestra de agua en el punto PM-2



Figura 09: Rotulado y etiquetado de las muestras de agua del río Coata para la determinación de metales pesados (Cd y Pb).



Figura 10: Proceso de limpieza de las cáscaras de huevo



Figura 11: Proceso de secado de las cáscaras de huevo en el horno eléctrico



Figura 12: Preparación de la solución mediante inducción controlada



Figura 13: Proceso de molienda de las cáscaras de huevo deshidratadas



Figura 14: Pesaje analítico de las dosis de PCH para el ensayo de jarras

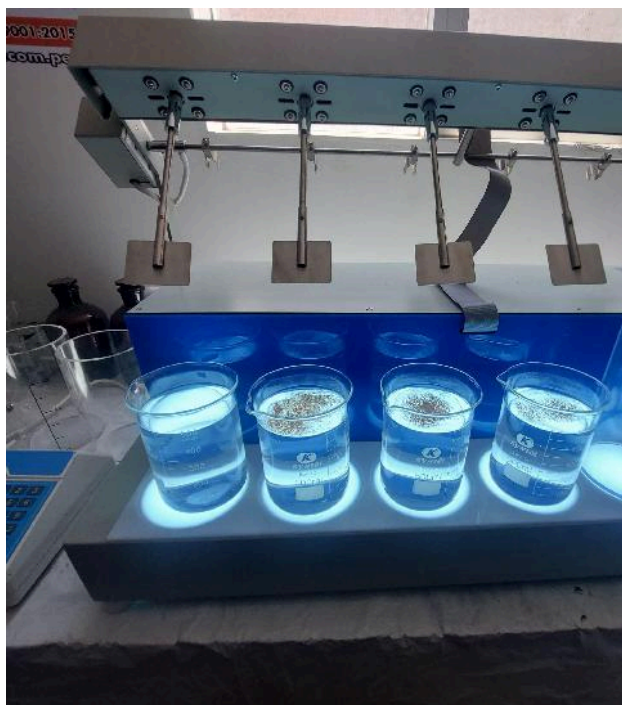


Figura 15: Ejecución del ensayo de jarras: primera corrida con cuatro dosis diferenciadas de PCH.



Figura 16: Proceso de agitación en la segunda etapa del ensayo de jarras con cuatro niveles de tratamiento.