UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

EFECTO DE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS EN LA BIOSORCIÓN DE As (V), Pb (II) Y Cd (II) UTILIZANDO LA CÁSCARA DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) COMO BIOSORBENTE BAJO UN SISTEMA DE BATCH

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. KARLA PATRICIA VALERIANO LÓPEZ

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2022

Firmado digitalmente por VALERIANO ZAPANA Jose Antonio FAU 20449347448 soft
Fecha: 2023.06.21 08:41:24 -05'00'
FIRMA DIGITAL

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Folio Nº 046

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Facultad N° 114-2023-FACIA-UNAM

Fecha: 08 de Agosto de 2023

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

Efecto de los parametros fisicoquimicos en la biosorcion de As(V), Pb(II) y Cd(II) utilizando la cascara de tuna (Opuntia ficus-indica) como biosorbente bajo un sistema de batch.

Bachiller: Karla Patricia Valeriano Lopez

Asesor Principal: Mgr. José Antonio Valeriano Zapana

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Doce (12) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 17:30 horas, del 09 de Agosto del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

René Germán Sosa Vilca
Presidente

Teodoro Desiderio Olarte Poma
Primer Miembro

Jorge Antonio Morales Carazas
Segundo Miembro

Karla Patricia Valeriano López
Bachiller

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

"EFECTO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN LA BIOSORCIÓN DEL As (V), Pb (II) y Cd (II) UTILIZANDO LA CÁSCARA DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*) COMO UN BIOSORBENTE BAJO UN SISTEMA DE BATCH"

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA CON RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 114-2023-FACIA-UNAM, EL 08 DE AGOSTO DEL 2023 POR:

KARLA PATRICIA VALERIANO LÓPEZ

INTEGRADO POR EL JURADO CALIFICADOR Y ASESOR QUE SE MENCIONA:

PRESIDENTE

Dr. RENÉ GERMÁN SOSA VILCA

PRIMER MIEMBRO

Dr. TEODORO AGRIPINO OLARTE POMA

SEGUNDO MIEMBRO

MSc. JORGE ANTONIO MORALES CARAZA

ASESOR

Dr. JOSE ANTONIO VALERIANO ZAPANA

DEDICATORIA

Dedico este logro al todo poderoso, a mis progenitores, Elena López y Víctor Valeriano, a mis siempre recordadas abuelitas, Valentina Alanoca y Tomasa Maquera, a mi querido tío Julio Valeriano, a mi querida hermana Stefany Valeriano, a mi adorada sobrina Romyna Cornelio, y a cada persona que me brindó su apoyo en cada momento de mi vida, son mi fortaleza y mi principal motivación para proseguir en la vida. Hasta el cielo hago llegar esta dedicatoria.

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer de manera muy especial a quienes apoyaron esta indagación:

Primero, agradecer al PROCIENCIA del CONCYTEC por la financiación (Contrato N° 365-2019-FONDECYT).

A mi guia Dr. José Valeriano Zapana por su vasto conocimiento y experiencia científica, y valioso aporte en la interpretación de los resultados, revisión general de la tesis y asesoramiento constante.

A la Lic. Judith Meléndez Mier por su experiencia y vasto conocimiento en química, parte fundamental para la ejecución de esta investigación; asimismo, por su soporte constante y acompañamiento durante la parte experimental.

A mi alma mater y FONDECYT por hacer viable la ejecución de este plan.

A cada una de los que me bridaron su ayuda, en el avance de la indagación. Y a mis familiares y amistades que no dejaron de brindarme palabras de aliento para culminar este proyecto.

RESUMEN

La reducción de contaminantes, es decir, de metales pesados, mediante el uso de biomateriales verdes es un área emergente de interés debido a su rentabilidad y capacidad de renovación. La presente tesis, investigó el efecto de los parámetros As (V), Pb (II) y Cd (II) empleando cáscara de tuna como biosorbente en un medio batch. El tratamiento físico consistió en la recolección, lavado, picado, secado, molido y tamizado. El tamaño de las partículas fueron 75 , 150 y 300 µm, los que estuvieron sometidos a un pretratamiento con NaOH (0.1N), seguido de un segundo tratamiento con $CaCl_2$ (0.2M). Las características químicas evaluadas fueron contenido catiónico (P, Ca, Mg, Fe), peso equivalente, acidez libre, metoxilo y ceniza. La dosis del biosorbente fueron de 0.5 g/L, 1.0 g/L y 1.5 g/L. El concentrado de As (V), Cd (II) y Pb (II), fueron de 50 ppm con un pH 6 y pH 6.5, por medio de un mecanismo secuencial por tandas a oscilación de 200 revoluciones por minuto durante un lapso de 24 horas bajo condiciones térmicas habituales, se llevó a cabo el procedimiento. A continuación, los experimentos fueron tamizados y remitidos al centro analítico CERPER S.A. para la evaluación numérica de elementos metálicos. Se alcanzó el ápice de adsorción biológica con valores promedio de 99 %, 60 % y 0 % para plomo divalente (Pb II), cadmio divalente (Cd II) y arsénico pentavalente (As V),; la mejor interacción en la remoción del plomo, tamaño 75 µm con una dosis de 0.5 g/L; seguido por el cadmio, tamaño 150 µm, con una dosis de 1.5 g/L. La cáscara mostró poder de captación iónico metálico de plomo y cadmio mas no para el arsénico.

Palabras claves: Biosorción, cáscara de tuna, tratamiento físico, tratamiento químico, metales pesados, cadmio, arsénico y plomo.

ABSTRACT

The diminishment of deleterious contaminants, particularly ponderous metallic elements, through the deployment of verdant biomaterials constitutes a nascent domain of scholarly and industrial intrigue, chiefly owing to their fiscal efficiency and regenerative nature. This dissertation delved into the influence of physicochemical variables on the bioadsorption of arsenic (As V), lead (Pb II), and cadmium (Cd II) utilizing the integument of as a bioadsorbent within a batch system configuration.

The preparatory physical regimen encompassed the sequential processes of procurement, ablution, segmentation, desiccation, pulverization, and stratification by particle dimensions. The granular sizes examined were 75 µm, 150 µm, and 300 µm, each subjected to a preliminary treatment with a 0.1N sodium hydroxide solution, succeeded by a secondary modification employing 0.2M calcium chloride. The scrutinized chemical properties included the quantification of cationic constituents (phosphorus, calcium, magnesium, iron), equivalent mass, liberated acidity, methoxyl content, and residual ash.

The bioadsorbent dosages applied were calibrated at 0.5 g/L, 1.0 g/L, and 1.5 g/L. The metallic analyte concentrations were standardized at 50 ppm for As (V), Cd (II), and Pb (II), maintained under pH conditions of 6 and 6.5, within a batch system agitated at 200 revolutions per minute over a 24-hour ambient incubation. Subsequent to the trials, filtrates underwent quantitative metal analysis conducted by the CERPER S.A. laboratory.

The empirical results revealed peak biosorption efficiencies, averaging 99%, 60%, and 0% for Pb (II), Cd (II), and As (V), respectively, with the most favorable removal parameters identified as follows: for lead, particle size of 75 µm and dosage of 0.5 g/L; for cadmium, particle size of 150 µm and dosage of 1.5 g/L. The prickly pear peel of

Opuntia ficus-indica exhibited a pronounced capacity for the adsorption of lead and cadmium metallic ions, albeit demonstrating negligible affinity for arsenic.

Key words: Biosorption, prickly pear peel (*Opuntia ficus-indica*), physical treatment, chemical treatment, heavy metals, cadmium, arsenic and lead.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN 4

INTRODUCCIÓN 18

I. Planteamiento del Problema 21

1.1. Descripción y Formulación del Problema 21

1.1.1. Descripción del Problema 21

1.1.2. Formulación del Problema 23

1.2. Objetivos 23

1.2.1. Objetivo General 23

1.2.2. Objetivos Específicos 23

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación 24

1.3.1. Justificación Ambiental 25

1.3.2. Justificación Social 26

1.3.3. Justificación Técnica 26

1.3.4. Justificación Económica 27

1.4. Hipótesis 27

1.4.1. Hipótesis de Investigación 28

1.5. Variables 28

1.5.1. Operacionalización de Variables 28

II. Marco Teórico 29

2.1. Antecedentes 29

2.1.1. *Internacional* 29

2.1.2. Nacional 31

2.1.3. Local 35

2.2. Bases teóricas 35

2.2.1. Contaminación en Aguas Superficiales por Metales Pesados 35

2.2.2. Contaminación en la Región Moquegua 36

2.2.3. Metales Pesados y sus Efectos en la Salud Humana 37

2.2.4. Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua 43

2.2.5. Tecnologías para Descontaminación de Aguas 45

2.2.6. Tuna 51

2.3. Definición de Términos 54

III. Metodología 58

3.1. Tipo y nivel de investigación 58

3.1.1. Nivel de Investigación 58

3.1.2. Tipo de Investigación 58

3.2. Ámbito Temporal y Espacial 58

3.3. Población y Muestra 59

3.3.1. Población 59

3.3.2. Muestra 59

3.4. Instrumentos 59

3.4.1. Equipos 59

3.4.2. Materiales de laboratorio 60

3.4.3. Reactivos 61

3.4.4. Otros 62

3.5. Procedimientos 62

3.5.1. Recolección de la Muestra (Biosorbente) 64

3.5.2. Tratamiento físico del biosorbente 65

3.5.3. Tratamiento químico del biosorbente 70

3.5.4. Granulometría del Biosorbente 72

3.5.5. Caracterización del Biosorbente 72

3.5.6. Biosorción 81

3.5.7. Análisis de Concentración de Metales 86

3.5.8. Determinación de Porcentaje de Biosorción de Arsénico (V), Cadmio (II) y Plomo (II) 86

3.5.9. Análisis de Datos 86

IV. Resultados y Discusión 88

4.1. Resultados 88

4.1.1. Caracterización Fisicoquímica del Biosorbente Cáscara de Tuna (Opuntia ficus-indica) 88

4.1.2. Determinación el efecto del tamaño de la partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de batch. 97

4.2. Discusión 116

4.2.1. Caracterización Fisicoquímica del del Biosorbente Cáscara de Tuna (Opuntia ficus-indica) 116

4.2.2. Efecto del Tamaño de la Partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la Cáscara de Tuna (Opuntia ficus-indica) en la Biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un Sistema de Batch......120

V. Conclusiones..... 121

VI. Recomendaciones 123

VII. Referencias Bibliográficas..... 124

VIII. Anexos 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Especies de As(V) como función de pH.....39

Figura 2 Especies de As(III) como función de pH 40

Figura 3 Diagrama general de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica).....62

Figura 4 Diagrama del tratamiento físico de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) 63

Figura 5 Diagrama del tratamiento químico de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) 64

Figura 6 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) 65

Figura 7 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) picada 67

Figura 8 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) en secado natural 68

Figura 9 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica), secado en estufa.....68

Figura 10 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) sin presencia de vectores.....68

Figura 11 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) redujeron su tamaño.....68

Figura 12 Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) molida. 69

Figura 13 Curva de calibración del Hierro 480 nm 77

Figura 14 Curva de calibración de fósforo.....79

Figura 15 Esquema de los tratamientos a seguir en un sistema de batch – shaker 82

Figura 16 % Ca y Mg presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001). 90*

Figura 17 Concentración de P (mg/L) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).....91*

Figura 18 Concentración de Fe (mg/L) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).....92*

Figura 19 % de cenizas presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001) 93*

Figura 20 Peso equivalente x 103 en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001) 95*

Figura 21 % acidez libre (mEq. Carboxilos libres/g) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).....96*

Figura 22 % de metoxilo presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001) 97*

Figura 23 Porcentaje de remoción del Cd para los diferentes tamaños de partícula (75 µm, 150 µm, 300 µm) y dosis (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g) de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica)

.....100

Figura 24 Porcentaje de remoción del Pb para los diferentes tamaños de partícula (75 µm, 150 µm, 300 µm) y dosis (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g) de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica).....100

*Figura 25 Comparación de medias de los diferentes tratamientos tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y concentración (0.5g/l, 1.0g/l y 1.5g/l). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001*

.....104

Figura 26 Gráfico de interacción para Cd (II) por efecto de los niveles del tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y de la concentración (0.5g, 1.0 g y 1.5g) 105

*Figura 27 Prueba de Tukey para el factor tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001.....107*

*Figura 28 Prueba de Tukey para el factor concentración (0.5g/L, 1.0g/L y 1.5g/L). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001 .....109*

*Figura 29 Comparación de medias de los diferentes tratamientos tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y concentración (0.5g/l, 1.0g/l y 1.5g/l). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001 .....113*

Figura 30 Gráfico de interacción para Pb (II) por efecto de los niveles del tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y de la concentración (0.5g, 1.0 g y 1.5g) 113

*Figura 31 Prueba de Tukey para el factor tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001.....115*

Figura 32 Agitación de las muestras.....132

Figura 33 Soluciones de los metales pesados 132

Figura 34 Sales para la preparación de solución.....132

Figura 35 Distribución de las soluciones de metales pesados.....132

Figura 36 Agitación a 200 rpm.....132

Figura 37 Filtración de las muestras.....132

Figura 38 Para el pesado de muestras se hizo uso de la balanza digitales.....133

Figura 39 Todas las muestras han sido trabajadas con el pH establecido 133

Figura 40 Forado de la solución madres.....133

Figura 41 Todos los envases han sido rotulados 133

Figura 42 Preparación de las soluciones madre 133

Figura 43 Aplicación de soluciones de As (V) en el biosorbente.....133

Figura 44 Secado de muestra sólida *134*

Figura 45 Muestra envasada posterior al proceso de biosorción *134*

Figura 46 Las muestras fueron almacenadas en sobres de polietileno de para su análisis *134*

Figura 47 Las muestras fueron enviadas en sobre a la ciudad de Lima *134*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variables *28*

Tabla 2. Niveles máximos de concentración para los metales más comunes *37*

Tabla 3 .Solubilidad de los compuestos de plomo *41*

Tabla 4 . Estimación de la emisión antropogénica del Pb hacia la atmósfera *41*

Tabla 5. Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua *43*

Tabla 6. Comparación de diferentes tecnologías para eliminar los metales pesados de las aguas residuales *46*

Tabla 7. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados *50*

Tabla 8. Composición nutricional de la tuna *52*

Tabla 9. Características físicas y químicas de las distintas porciones del fruto (g/100g de peso fresco) *53*

Tabla 10. Nivel de investigación *58*

Tabla 11. Características del tipo de estudio *58*

Tabla 12. Especificación del lavado de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) *66*

Tabla 13. Secado de las cáscaras de tuna (Opuntia ficus indica) *67*

Tabla 14. Curva de calibración para el Hierro *75*

Tabla 15. Determinación del hierro mediante la concentración y absorbancia *77*

Tabla 16. Determinación del fósforo mediante la concentración y absorbancia *79*

Tabla 17.Esquema de diseño experimental *84*

Tabla 18. Porcentaje de pérdida por cada etapa de tratamiento *88*

Tabla 19. Contenido catiónico de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) sin tratamiento y con tratamiento *89*

Tabla 20. Porcentaje de peso equivalente, acidez libre y metoxilo la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) sin tratamiento y con tratamiento *94*

Tabla 21. Resultados concentración final de As (V), Cd (II) y Pb (II) *98*

Tabla 22. Porcentaje de remoción para As (V), Cd (II) y Pb (II). 98

Tabla 23. Análisis de la varianza (ANOVA) entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Cd (II) 101

Tabla 24. Análisis de la varianza (ANOVA) entre los niveles del tamaño de partícula y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Cd (II) 103

Tabla 25. Prueba de Tukey para medias del factor tamaño de partícula.....106

Tabla 26. Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.....106

Tabla 27. Prueba de Tukey para medias del factor concentración.....108

Tabla 28. Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.....108

Tabla 29. Análisis de la varianza (ANOVA) entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Pb (II) 110

Tabla 30. Análisis de la varianza (ANOVA) entre los niveles del tamaño de partícula y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Pb (II) 111

Tabla 31. Prueba de Tukey para medias del factor tamaño de partícula.....114

Tabla 32. Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias.....114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Preparación de Solución de NaOH de 0.1 N *129*

Anexo 2 Ecuación para cálculo de cenizas *130*

Anexo 3 Ecuación para el Cálculo de Calcio y Magnesio del Biosorbente *131*

Anexo 4 Galería Fotografía de la Investigación *132*

Anexo 5 Resultado de las concentraciones de As (V), Cd (II) y Pb (II) en el proceso de biosorción de la Cáscara de la Tuna (Opuntia ficus - indica). *135*

INTRODUCCIÓN

La presente indagación emerge ante la urgencia de plantear opciones diversas para abordar la polución de líquidos provocada por metales densos de origen fabril, los cuales perjudican el recurso hídrico, los sustratos terrestres, la atmósfera, y, en consecuencia, interfieren con la perpetuación y progreso de la existencia en el globo terráqueo.

El líquido vital constituye uno de los bienes naturales más damnificados por las acciones antropogénicas y fabriles en el ámbito planetario, y el Perú no es ajeno a esa situación. La contaminación por metales pesados ha provocado serios problemas ambientales, pérdidas de la propiedad y por consecuencia daños a los individuos, principalmente en las vías respiratorias y digestivas depositándose en los órganos más importantes del cuerpo, generando enfermedades cardiovasculares e incluso el cáncer, entre otras enfermedades. De igual manera, afectando la calidad de los ecosistemas y con ello generando pasivos ambientales. Tal es el caso de Moquegua, donde a fines del 2020 las muestras de 44 niños de 55 muestras de Torata arrojaron niveles del metal arsénico sobre el nivel de las máximas concentraciones, consideradas dañinas por las instituciones competentes; esto según Muqui (2020), que es una red de propuesta y acción, minería, ambiente y comunidades.

Los métodos habituales para eliminar metales pesados como el plomo se revelaron como poco rentables o complicados desde el punto de vista técnico. Estos métodos incluyen procedimientos tales como la permuta iónica tradicional, la separación líquida y la ósmosis reversa, en las cuales se utilizan componentes como resinas de intercambio, membranas filtrantes y carbón activo, entre otros recursos. Esta situación ha llevado al desarrollo de nuevas alternativas económica y tecnológicamente limpias para el trato y eliminación de estos elementos, tal es el caso de este plan, que busca escrutar el comportar de los medios precisados previamente, como alternativa viable y sostenible. Aplicando la

tecnología de biosorción, donde las materias primas utilizadas como sorbentes son elementos orgánicos de desecho (reaprovechamiento de residuos orgánicos).

De esta manera, la utilización de residuos agrícolas se propone como una alternativa para reducir la polución de los medios liquidos disponibles y permitir la recuperación de aguas que puedan asegurar ecosistemas saludables para el pleno desarrollo de la vida.

La tesis está organizada de la forma:

Epígrafe I: Planteamiento del Problema

Incluye la exposición y enunciación del dilema, los propósitos generales y particulares del escrutinio, la fundamentación y trascendencia del estudio, la conjetura inicial y las magnitudes asociadas.

Epígrafe II: Marco Teórico

Aquí se despliegan los cimientos conceptuales relativos al tópico de indagación. Se abarcan los precedentes globales, regionales y locales; asimismo, la aclaración de nociones clave.

Epígrafe III: Metodología

Aborda las estrategias implementadas en la pesquisa, el género y la jerarquía del análisis; la dimensión cronológica y geográfica; el conjunto poblacional y la selección muestral; los instrumentos utilizados (herramientas, materiales experimentales, agentes químicos, entre otros); y los métodos operativos aplicados (preparativos preliminares, operaciones principales y procesos de absorción biológica).

Epígrafe IV: Resultados y discusión

Se exhiben los descubrimientos emanados de la labor investigativa.

Epígrafe V: Conclusiones

Epígrafe VI: Recomendaciones

Epígrafe VII: Referencias

Epígrafe VIII: Anexos

Se agregaron exámenes de información que conforman el esquema.

I. Planteamiento del Problema

1.1. Descripción y Formulación del Problema

1.1.1. Descripción del Problema

En la contemporaneidad, el orbe enfrenta una miríada de tribulaciones ambientales, resaltando la polución derivada de elementos metálicos de alta densidad, la cual ejerce una influencia trascendental sobre los seres vivos. Esta clase de degradación ambiental modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del entorno, erigiéndose como un componente determinante para la integridad del ecosistema.

Acorde lo indicado por Cabrera (2017), la ejecución de diversos emprendimientos extractivos en el territorio ha intensificado la contaminación hídrica debido a los desechos residuales provenientes de explotaciones mineras. Cuerpos acuáticos como cauces fluviales, embalses, estanques y mares se convierten en el destino definitivo de los residuos originados por las actividades antropogénicas. Se señalaba que elementos metálicos de alta densidad, tales como plomo, hierro, cobre, zinc, arsénico, cromo, cadmio y magnesio, junto con ciertos compuestos químicos empleados en las plantas de tratamiento mineral, no experimentan descomposición biológica ni transformación química en un lapso temporal inmediato. Por consiguiente, son catalogados como nocivos para una amplia gama de organismos vivos, generando impactos adversos en los hábitats naturales.

Así también, Correo Cuba, Fuentes Bernedo, & Coral Surco (2021), señalan que, en los Andes, a pesar de la urgencia de realizar monitoreos periódicos de cuencas y microcuencas, se han realizado pocas investigaciones sobre la presencia e impacto de metales, que son importantes para la producción del área de productos agrícolas. La precisión de estos, en estas áreas sensibles se consideró una tarea prioritaria dentro de la

preocupación por el control ambiental en las cuencas. Esta información permitiría a las autoridades locales, regionales e incluso al gobierno central tomar decisiones políticas más informadas. Las cuencas hídricas, al recibir descargas antrópicas, se convirtieron en vías principales para el transporte de elementos químicos depositados en los sedimentos.

En el 2018, ejecuto un escrutinio minucioso de la jurisdicción denominada Moquegua, específicamente enfocado en la pureza del líquido vital destinado al consumo humano. Este examen reveló que ciertos mecanismos de distribución hídrica en las localidades de Carumas, Cuchumbaya, Moquegua, Torata, Chojata, Coalaque, La Capilla y Lloque presentan primordialmente concentraciones de arsénico que exceden los estándares establecidos por los ECA para liquido, Clasificación 1, Subdivisión A, A1. Paralelamente, en las demarcaciones de San Cristóbal, Ichuña, Matalaque, Omate, Puquina y Ubinas, el índice de plomo también trasgrede los parámetros estipulados por los ECA en determinados sistemas de aprovisionamiento hídrico. (DRS, 2019)

De igual manera, Sánchez Valencia (2019) efectuó una indagación sobre *"Concentraciones de Metales Pesados (Pb, Al y Sr) en Temporadas de Crecida y Sequía en el Río Osmore, Región Moquegua"*. Durante el periodo de sequía, se documentaron niveles mínimos de aluminio oscilando entre 3.73 mg/L y 0.0565 mg/L, plomo entre 0.00172 mg/L y menos de 0.00025 mg/L, y estroncio de 1.06 mg/L a 0.215 mg/L. No obstante, en la etapa de crecida, las concentraciones de aluminio en el líquido hídrico rebasaron los límites de los ECA, alcanzando 28.2 mg/L, lo cual representa un aumento aproximado del 600% sobre el umbral estipulado a nivel nacional. Este fenómeno tuvo efectos nocivos sobre la vegetación y la fauna de la cuenca hidrográfica, pudiendo desencadenar alteraciones abruptas en los entornos ecológicos.

A lo largo del primer tramo del 2021, la manufactura autóctona del fruto conocido como tuna dio lugar a 44.284 toneladas métricas, las cuales se recolectaron en 5.677 áreas

hectáreas, presentando un rendimiento medio de 7,8 t/ha. Las demarcaciones con mayor fecundidad fueron Ayacucho, con 12.649 toneladas; Cusco, con 7.560 toneladas; y Huancavelica, con 6.072 toneladas. Asimismo, se consignaron cuantías considerables en Apurímac, con 5.581 ton; Lima, con 3.038 ton; Arequipa, con 2.570 ton; y otros territorios, como Moquegua y Áncash, que aportaron al cómputo global del país. (Gerencia Regional de Agricultura Moquegua, 2021).

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto de los parámetros fisicoquímicos en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) utilizando la cáscara de tuna como biosorbente bajo un sistema de batch?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar el efecto de los parámetros fisicoquímicos en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II), utilizando la cáscara de tuna *como* biosorbente bajo un sistema de batch.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos (contenido catiónico, cenizas, peso equivalente, acidez libre y metoxilo) del biosorbente cáscara de tuna .
- ✓ Determinar el efecto del tamaño de la partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la cáscara de tuna en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de batch.
- ✓ Determinar la concentración (0.5, 1.0 y 1.5 g/L) optima de la cáscara de tuna en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de batch.

1.3. Justificación e Importancia de la Indagación

Tal como afirma Acharya (2018), indica que los metales tóxicos en el ambiente son imposibles de degradar, lo único que se podría hacer es inmovilizarlos en condición sólida y con una densidad tal que permanecería ajeno a los procesos cíclicos naturales, quedando inaccesible para las entidades vivientes. Por eso es por lo que, es importante la realización de mayores estudios que permitan investigar a fondo la biorremediación de espacios contaminados con metales pesados.

Asimismo, Acharya (2018) menciona que, los métodos de biorremediación como la bioacumulación, la biosorción y la fitorremediación son alternativas amigables para el medio ambiente, las cuales no presentan contaminación secundaria y son de bajo costo, por lo que han atraído una atención significativa para remediar las aguas residuales industriales contaminadas. En particular, la biosorción se identificó como un potente método de biorremediación que es comparable al método bien establecido de tratamiento basado en resinas de intercambio iónico.

Tal como menciona Barquilha et al., (2019), los biosorbentes que se usan comúnmente para la eliminación de iones metálicos incluyen algas (frescas y marinas), hongos, bacterias, desechos industriales, desechos agrícolas y otros materiales polisacáridos. Estos biosorbentes precisan una buena desintegración de diferentes iones metálicos. De este modo, a partir de los talofitos parduscos del género *Sargassum*, se elaboró un atrapador biológico solidificado, el cual fue empleado para la extracción de partículas iónicas de níquel (Ni^{2+}) y cobre (Cu^{2+}) dentro de un conducto con relleno estacionario. Dichas pruebas se llevaron a cabo utilizando mezclas líquidas de composición artificial.

Por lo tanto, es muy importante investigar tecnologías de tratamiento de agua económicas, efectivas y accesibles. Métodos principales que incluyen sedimentación,

tamizado mediante películas semipermeables, procedimientos galvánicos, permuta catiónica y procesos de atrapamiento físico-químico han sido aplicados durante décadas en la purificación de reservas hídricas polutas por elementos metálicos de alta densidad. Sin embargo, la mayoría de estas estrategias, a excepción del atrapamiento biológico, presentan costos elevados. Por ende, resulta de gran trascendencia profundizar en investigaciones vinculadas a técnicas de recuperación ecológica.

La biorremediación por biosorción es, sin duda, una estrategia prometedora para mitigar la contaminación por metales pesados. Constituye una opción eficiente frente a los procedimientos convencionales de depuración hídrica, empleando atrapadores biológicos provenientes de materiales naturales, como desechos agrícolas, para capturar y remover metales de alta densidad. Paralelamente, brinda múltiples beneficios destacados, tales como abundancia y capacidad de regeneración, economía operativa, tecnología respetuosa con el medio ambiente y simplicidad de aplicación. La biosorción es un mecanismo pasivo y de carácter no específico en el cual organismos vivos o sus subproductos retienen contaminantes de su entorno, incluyendo metales pesados y compuestos químicos orgánicos (Gardea-Torresdey, 2019). Este fenómeno puede estudiarse en configuraciones por lotes, donde se evalúan parámetros como acidez (pH), temperatura, duración de interacción y la concentración inicial del contaminante.

1.3.1. Justificación Ambiental

Tal como afirma Calixto Dominguez & Gaona López (2019), la biorremediación mediante la absorción es una opción buena para decrementar este mal de componentes en los vertidos producidos por la actividad industrial (minería), así como para mejorar la recuperación de estos metales. Y es un mecanismo pasivo, no dependiente de energía, rápido y reversible que tiene lugar tanto en plantas vivas como no vivas.

1.3.2. Justificación Social

Conforme a la DIRESA (2019), la manifestación de elementos metálicos tóxicos ha perjudicado adversamente el entorno natural y el bienestar fisiológico de los individuos residentes en las comunidades de dicha jurisdicción. Igualmente, en el escrutinio comarcal sobre la pureza hídrica destinada al consumo humano ejecutado en el año 2018, se constató que en 69 asentamientos de la región Moquegua, las poblaciones están sometidas a la exposición de compuestos metálicos dañinos, tales como el arsénico y el plomo. Específicamente, 44 localidades registraron la presencia de arsénico, 22 localidades detectaron plomo y 03 localidades evidenciaron ambas sustancias, arsénico y plomo, situación observada en las demarcaciones de Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro. Entretanto, en Ilo, se verificó que la Instalación de Procesamiento de Agua Potable (IPAP I) Cata Catas Fuente Ite y la IPAP I Cata Catas Mezcla (Ite y Pasto Grande) no satisfacen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) correspondientes al indicador de arsénico. Por tal motivo, se sugiere instaurar procedimientos de depuración en los mecanismos que no logran alcanzar los umbrales permisibles en los atributos del agua destinada al uso humano, así como evaluar fuentes alternativas para garantizar una provisión segura para los habitantes.

1.3.3. Justificación Técnica

Conforme a lo expuesto por Licares Eguavil (2019), el procedimiento de biosorción se estima como una opción idónea frente a los métodos tradicionales de depuración de aguas residuales, empleando adsorbentes naturales que son relativamente sencillos de localizar, regenerar y manejar, lo cual deriva en una mayor relación costo-beneficio. Esta metodología ecológica utiliza recursos naturales o subproductos industriales para erradicar impurezas, tales como elementos metálicos pesados, compuestos orgánicos y nutrientes disueltos.

Además, esta estrategia destaca por su eficacia en la extracción de contaminantes, su bajo costo y la amplia accesibilidad de insumos biológicos. Del mismo modo, es una práctica sostenible con escaso impacto medioambiental, fácilmente adaptable a diversos tipos de contaminantes. Su dependencia de sustancias químicas es mínima, permite el reaprovechamiento de biomasa, y la biosorción no opera necesariamente como un proceso aislado, sino que puede ser implementada en sinergia con otros enfoques de biorremediación. Esta integración de tecnologías tiene el potencial de optimizar el tratamiento de aguas y suelos contaminados.

En este contexto, cabe resaltar que la biosorción constituye una técnica de saneamiento efectiva, económica y respetuosa con el entorno.

1.3.4. Justificación Económica

Como señala Licares Eguavil (2019), los métodos convencionales de tratamiento requieren, en general, una considerable área y originan un considerable cúmulo de sedimentos residuales. Asimismo, el inconveniente relacionado con la eliminación segura de dichos materiales permanece sin solución definitiva, mientras que los gastos asociados continúan representando un desafío en proporción a la eficacia lograda. La dificultas de implementar procesos complejos y costosos llevo a buscar alternativas más económicas, renovables y de fácil aplicación.

1.4. Hipótesis

H_0=Los parámetros fisicoquímicos no tienen efectos en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) utilizando la cáscara de tuna como biosorbente bajo un sistema de batch.

H_1=Los parámetros fisicoquímicos tienen efectos en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) utilizando la cáscara de tuna como biosorbente bajo un sistema de batch.

1.4.1. Hipótesis de Investigación

Los parámetros fisicoquímicos tienen efectos en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) utilizando la cáscara de tuna como biosorbente bajo un sistema de batch.

1.5. Variables

1.5.1. Operacionalización de Variables

La Tabla 1 muestra el establecimiento de las variables independientes y dependientes; con las dimensiones de tamaño de partícula, concentración y biosorción de contaminantes.

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	**Dimensión**	**Indicadores**	**Valores finales**
Independiente	Tamaño de elemento	Diámetro(µm) 75 150 300	mg/L
	Concentración	Masa del biosorbente 0.5 g/L 1.0 g/L 1.5 g/L	mg/L
Dependiente	Biosorción de contaminantes	Concentración de los contaminantes As (V) ppb Pb (II) ppb Cd (II) ppb	% de biosorción

Nota. Esta tabla muestra como dependientes al tamaño de partícula y concentración.

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Internacional*

Tal como afirma Anderson IV (2019), las propiedades de biosorción del grano gastado de la cervecera se evaluaron en términos de su utilidad en eliminar metales pesados de las soluciones. La finalidad de esta indagación implicó examinar el balance de biosorción, identificando la influencia de otros cationes en la eficiencia de sorción, y examinando la posibilidad de regeneración del lecho. Los estudios se realizaron en un sistema estático, con una relación constante de volumen de solución a masa biosorbente, y utilizando un sistema de flujo continuo. Se determinó que una concentración relativamente alta de cationes de calcio (7.5 mmol/L) versus la concentración de cationes de cobre (0.03 mmol /L) en solución, restringió la eficiencia de sorción por aproximadamente el 80%. Se comprobó que el pH óptimo de la solución utilizada para llevar a cabo la sorción era dentro del rango de 4.5 a 5.5.

Según Tama (2019), en la tesis de indagación "Determinación de la capacidad de biosorción y desorción de la corona de piña (*Ananas comosus*) para la remoción de metales pesados", inició con la caracterización del biosorbente donde se observó que la corona de la piña y la cual posee una estructura laminosa estriada.

Dentro de las experiencias internacionales, El-Naggar (2018) ha realizado un estudio sobre el proceso de adsorción de Pb^{2+}. Para tal propósito, se utilizó un esquema experimental factorial de Plackett-Burman con el objetivo de discernir las variables más determinantes que afectan el proceso de remoción de este elemento metálico en soluciones líquidas. Se determinó que el pH inicial, la densidad del metal en la solución

y la temperatura constituyen los factores de mayor impacto en la eficacia del fenómeno de biosorción.

De manera análoga, otra de las vivencias fructíferas corresponde a Morosanu (2017), quien exploró la factibilidad de emplear captadores bioactivos derivados de macrofitas litorales para la inmovilización de elementos metálicos tóxicos, evaluando sus aptitudes de fijación bioquímica, dinámicas de interacción, condicionantes funcionales y procedimientos preparatorios. En una indagación realizada en Turquía, se recopilaron macrofitas marinas del litoral septentrional, incluyendo variedades como *Chaetomorpha sp.*, *Polysiphonia sp.*, *Ulva sp.* y *Cystoseira sp.*. Estas macrofitas fueron tratadas con hidróxido sódico y empleadas como materia prima bioabsorbente en el saneamiento de efluentes artificiales contaminados con zinc, mediante un enfoque de descontaminación biológica. Se ejecutaron pruebas de fijación bioactiva para perfeccionar múltiples parámetros como la acidez potencial (pH), la dosificación del captador bioactivo, la concentración de los elementos metálicos y la duración de la interacción.

Por otro lado, en la Universidad de La Guajira, Vizcano Mendoza & Fuentes Molina (2015) llevaron a cabo un estudio sobre la biosorción de elementos tóxicos como cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn), empleando biocompuestos preprocesados de algas rodofíceas, corteza cítrica de naranja y tuna. En dicho estudio experimental, se examinó cómo los tratamientos preliminares y la disposición estructural influían en las pruebas de absorción por lotes, utilizando soluciones basificadas y cálcicas. Se determinó que las algas acondicionadas con hidróxido sódico (NaOH) a una concentración de 0.1 N, así como la corteza de naranja y tuna sometidos a alteraciones sucesivas con NaOH y cloruro de calcio ($CaCl_2$) a 0.2 M, exhibieron una notable mejora en su capacidad de captura química. Los resultados indicaron que las tres biomasas presentaron eficiencias similares

para remover Cd y Pb, superando el 95%, mientras que la remoción de Zn alcanzó un 62% al utilizar tuna modificada como sorbente.

2.1.2. Nacional

En la indagación titulada "Evaluación de la cáscara de mandarina *Citrus reticulata* y maracuyá *Pasiflora edulis* como biosorbentes para la remoción de plomo en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020" presentado por Samaniego (2022), Se investigó la eficiencia de bioadsorción de mandarina y maracuyá para la extracción de plomo en soluciones. Para tal propósito, se ejecutaron tres pruebas experimentales empleando proporciones de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 gramos de los bioadsorbentes de origen natural, junto medios de concentracion de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/L. Los resultados revelaron eficacias del 72.4% en la eliminación de plomo mediante el uso del exocarpio de mandarina y del 81.1% con el de maracuyá, destacándose que un incremento en la cantidad de material adsorbente mejoraba significativamente la remoción del contaminante.

En la tesis "Biosorción de plomo de aguas contaminadas usando biomasa modificada químicamente del *Nostoc Commune*" Exhibida por Lavado (2021), en el esquema de indagación se empleó materia orgánica derivada de una (BNC) como fundamento para concebir un novedoso agente bioadsorbente. Este compuesto fue alterado químicamente mediante (NaOH) con el propósito de optimizar la remoción del (Pb^{2+}) de líquidos contaminados. La capacidad de bioadsorción del susodicho material incrementó un 98.8%, resaltándose el nivel de acidez o alcalinidad (pH) como un parámetro crucial en la operación.

Según Valerde (2020), en su tesis "Biosorción de metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cáscaras de *Citrus limonium",* indago las etapas de biosorción de metales pesados y biomasa, tanto viva como muerta, con el fin de eliminar o paralizar

iones metálicos en medios líquidos o sólidos. A partir de la década de 1970, se ha escrutado exhaustivamente esta temática, alcanzando una comprensión extensiva de los engranajes fisicoquímicos intervinientes. En tiempos contemporáneos, las indagaciones se centran en la alteración genómica de microbios con el objetivo de potenciar la eficacia del fenómeno bioadsorbente. El análisis determina que los residuos pericárpicos de frutas cítricas pueden constituir un recurso idóneo para tal procedimiento, coadyuvando en la depuración de vertidos acidificados.

Conforme a Calixto Domínguez y Gaona López (2019), en su disertación "Adsorción biológica de plomo II utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en efluentes hídricos," se emplearon desechos de esta fruta para aprovechar las sustancias pécticas en la captación bioquímica del ion plúmbico (Pb^{2+}). Este análisis se efectuó bajo condiciones térmicas de entorno a 25°C y presión estándar de 1 atmósfera, utilizando una solución artificial de 100 partes por millón en un sistema de columna estática. El estado de equilibrio se alcanzó tras 6 horas, logrando una eliminación del 91.8% a un nivel de acidez o alcalinidad (pH) de 5.

Conforme a Licares Eguavil (2019), en su disertación titulada "Potencial bioadsorbente de la cascara de tuna para la eliminación de cationes plúmbicos (Pb^{2+}) en una mezcla acuosa," se llevó a cabo una indagación en la cual se elaboró una solución de nitrato de plomo con una concentración de 1000 partes por millón y un pH neutro. Se incorporaron 0.50 µm de *Opuntia ficus-indica* previamente pulverizada en 500 ml de dicha solución, sometiéndola a agitación a 150 revoluciones por minuto durante 120 minutos bajo condiciones térmicas normales, alcanzando una reducción del ion plúmbico del 98.02%.

El examen de la muestra triturada mostró un contenido hídrico del 15.54%, residuos de cenizas del 0.55% y un porcentaje de carbón fijo del 10.61%. La

caracterización estructural mediante la técnica BET indicó un área superficial de 2.1050 metros cuadrados por gramo, un volumen de poro de 0.000805 metros cúbicos por gramo y un diámetro poroso de 248.91753 nanómetros, determinado a una temperatura de ebullición de 77 grados Kelvin. Se concluyó que la biomasa de tuna es un adsorbente eficiente y económicamente viable.

Tal como afirma Suyon (2018), los adsorbentes naturales son altamente efectivos para descontaminación de aguas. Esto se demuestra en el proyecto “Evaluación de la eliminación de arsénico y opacidad empleando residuos cenicientos de la cáscara de arroz a través del método adsorbente," en el cual se implementó un protocolo elemental para obtener cenizas a partir de la cáscara de arroz. Estas cenizas fueron sometidas a un proceso de activación y utilizadas en un experimento que incluyó la aplicación de cuatro concentraciones distintas: 1.5, 1.00, 0.5 y 0.25 gramos. La agitación se realizó a 100 rpm durante 2 minutos y a 50 rpm durante 15 minutos. Los resultados indicaron una remoción del arsénico del 78.51% y una reducción de turbidez del 48%. El investigador concluyó que las cenizas eran efectivas para la descontaminación del agua.

En su disertación intitulada “Captación biosorbente de cobre (II) y hierro (III) mediante cáscara de almendra en el efluente de la planta concentradora Victoria - Yauli La Oroya”, Alarcón (2018) examinó la aptitud de retención de estos elementos metálicos utilizando cáscara de almendra proveniente del residuo líquido industrial. Se ejecutaron pruebas de adsorción en un sistema por lotes (Batch), donde se analizaron múltiples parámetros, tales como la temperatura, el periodo de interacción y la cantidad de material adsorbente, con el propósito de evaluar su influencia en la dinámica de la biosorción. Los hallazgos evidenciaron una sobresaliente eficacia en la extracción, alcanzando un 98.28% para el cobre (II).

En la disertación sobre “Bioadsorción de Plomo (II) de las aguas del río Ayaviri mediante el uso de salvado de cebada”, Mamani (2016) aspiró a indagar la aptitud de la de cebada como sustrato retentivo para la extracción de plomo. Para concretar este escrutinio, se llevó a cabo una etapa experimental que incluyó la colecta de ejemplares acuosos en diversos parajes del río. Las muestras fueron sometidos a análisis en laboratorio, donde se formuló una solución empleando biomasa sometida a tratamiento con HCl 0.1 N y deshidratada a 70 °C.

Las pruebas de retención se ejecutaron a una temperatura de 15.45 °C, fijándose un pH idóneo de en torno a 5, mientras se alteraba la densidad de Pb (NO3). Los hallazgos exhibieron que la biomasa posee una eficacia notable para purificar fluidos hídricos, subrayando la capacidad latente de los residuos botánicos en mecanismos ecológicos. La pesquisa concluyó que la utilización del salvado de cebada constituye una alternativa factible y perdurable para la extracción de plomo en líquidos contaminados.

En contraste, la labor ejecutada por Lavado Meza y Oré Jiménez (2016) en la Universidad Continental se focaliza en la bioadsorción del plomo bivalente presente en disoluciones acuosas, empleando biomasa alterada de olote de maíz (*Zea mays*) como sustrato retentivo. En esta indagación, se aplicó un procedimiento químico sobre la biomasa mediante una disolución de NaOH al 0.2 M en un esquema discontinuo (batch), lo que derivó en un aumento del 40% en su potencial de retención.

Las condiciones óptimas establecidas para el proceso incluyeron una proporción de 4 g/L de biomasa, un periodo de agitación de 60 min y un pH de 5.0. La data cinética se adaptaron al esquema de Pseudo Segundo Orden, mientras que los valores de balance presentaron mejor concordancia con el modelo de Langmuir, lo que evidencia que la bioadsorción transcurre en una monocapa uniforme. La máxima capacidad retentiva del

olote tratado alcanzó los 12.44 mg/g, demostrando su efectividad para la depuración de plumbio en líquidos contaminados.

2.1.3. Local

Entre las vivencias autóctonas, se encuentra la investigativa ejecutada en la Universidad José Carlos Mariátegui de Yañez (2018), sobre "Influencia térmica del almacenaje en los atributos físicos y químicos de la tuna en la demarcación de Moquegua". La finalidad primordial de esta indagación residió en analizar de qué manera las condiciones térmicas y la duración del resguardo inciden sobre las cualidades fisicoquímicas de distintas variantes de tuna. Los investigadores concluyeron que, al almacenar la tuna a 5 y 21 °C, se observaron menores pérdidas de humedad y variaciones en °Brix. En contraste, a 30 °C se registró una pérdida de humedad cercana al 15% y la mayor reducción en °Brix. Además, a 5 °C se notó una disminución en la acidez, siendo la variedad roja la que mostró la mayor capacidad antioxidante. Las constantes cinéticas del proceso indicaron un comportamiento lineal, con la acidez como la variable más crítica en el análisis. Este trabajo resalta la importancia de establecer condiciones óptimas de almacenamiento para conservar las propiedades de la tuna.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación en Aguas Superficiales por Metales Pesados

Según Green (2016), la polución por medios en las aguas superficiales sigue siendo un problema en el cuidado del medio ambiente natural, otro contaminantes como los diferentes compuestos orgánicos provenientes de industrias y comunidades, los lixiviados de los campos agrícolas son también parte del problema, pero de forma particular son los metales pesados los que causan preocupación, esencialmente el cadmio y plomo son los con mas pesaje y tienen las características más tóxicas y fuertes para

contaminar y dañar (Mendes, 2017). En la salud del ser humano, el envenenamiento por plomo causa trastornos gastrointestinales, daña el sistema renal, y el nervioso central; el cadmio puede causar hipertensión, anemia y el enfisema.

Según Yáñez (2018), en los sistemas acuáticos, la polución de estos representa una amenaza significativa, ya que estos metales no son biodegradables, son persistentes, se movilizan y se transportan a la red alimentaria como resultado de la lixiviación de los vertederos de desechos, suelos y aguas contaminadas. Conforme estos metales pasan a niveles tróficos superiores, pueden dar lugar a los procesos de biomagnificación. Incluso concentraciones pequeñas de estos metales pueden tener efectos tóxicos severos en organismos acuáticos y en seres humanos que consumen alimentos contaminados.

2.2.2. Contaminación en la Región Moquegua

Según el BCR (2023), la zona Moquegua se localizar en el sur y está seccionada en 3 provincias, siendo Mariscal Nieto la que alberga su capital, la ciudad de Moquegua. La agricultura es elemental, desarrollándose en diversos valles de la región. Aunque también existen actividades mineras y ganaderas, la agricultura predomina al generar 37% de empleo local, constituyendo así la mayor fuente de trabajo para la población activa en el momento.

Según Zeballos (2019), la región de Moquegua ha sido un centro de actividades mineras desde 1970, lo que ha generado preocupaciones significativas en el ámbito del bienestar colectivo y la esfera ecológica, múltiples indagaciones y reportes, tales como el I.T 037-2016 DRSM, han destacado un inquietante incremento en las concentraciones de elementos metálicos tóxicos en las aguas destinadas a la ingesta humana. Entre dichos componentes se encuentran el aluminio, manganeso, cadmio y níquel, cuyos valores han transgredido los umbrales máximos tolerables estipulados para la preservación de la salud

pública en la localidad de Moquegua. En este marco, se ejecutó un estudio que contrastó las proporciones de arsénico y cadmio presentes en la orina de infantes de 6 a 12 años residentes en dos jurisdicciones: Torata y Carumas, ambas situadas en la demarcación. Los hallazgos expusieron que la media de ar en la orina de los menores del área de Carumas ascendía a 76.64 microgramos por gramo de creatinina, en tanto que en Torata este promedio era considerablemente mayor, alcanzando 98.45 microgramos por gramo. En cuanto al cadmio, los niveles promedios fueron de 0.59 microgramos por gramo en Carumas y 1.03 microgramos por gramo en Torata. Estos datos son preocupantes ya que todos los niños analizados presentaron niveles superiores al valor de referencia recomendado para el arsénico. La situación se complicó aún más cuando se declararon estados de emergencia en varios distritos debido a la contaminación hídrica provocada por las actividades mineras. Las autoridades locales han sudo instadas a tomas medidas urgentes para abordar esta crisis sanitaria y ambiental. La falta de acción adecuada ha llevado a un llamado generalizado para realizar nuevos estudios y proporcionar atención médica especializada a los afectados.

2.2.3. Metales Pesados y sus Efectos en la Salud Humana

Una exposición a los metales pesados puede causar daños graves en las partes del ser, por lo que ello es de extrema relevancia.

Tabla 2

Niveles máximos de concentración para los metales más comunes

Metal Pesado	**Toxicidades**	**MCL (mg/L)**
Arsénico	Erupciones dérmicas, neoplasias internas, patologías vasculares	0.05

Cadmio	Afección nefrológica, disfunción renal, agente oncogénico humano	0.01
Cromo	Cefalea, descomposición estomacal, arcadas, emesis, sustancia cancerígena	0.05
Cobre	Lesiones hepáticas, trastorno de Wilson, vigilia perturbada	0.25
Níquel	Irritación cutánea, mareos, asma persistente, exhalaciones con flema, compuesto carcinógeno humano	0.20
Zinc	Melancolía, abatimiento, señales neurológicas y incremento de la sed	0.80
Plomo	Agravios al cerebro embrionario, dolencias renales, del sistema hemocirculatorio y del aparato neural	0.006
Mercurio	Poliartritis crónica y padecimientos de los riñones, red circulatoria y red nerviosa.	0.00003

Nota. Se advierten las nocividades derivadas de la acumulación específica de cada elemento metálico pernicioso. Según el texto titulado "Editorial: Metales Nocivos en Comestibles" Precisado en el RINH “Rafael Rangel”, edición del año 2022.

2.2.3.1. Arsénico.

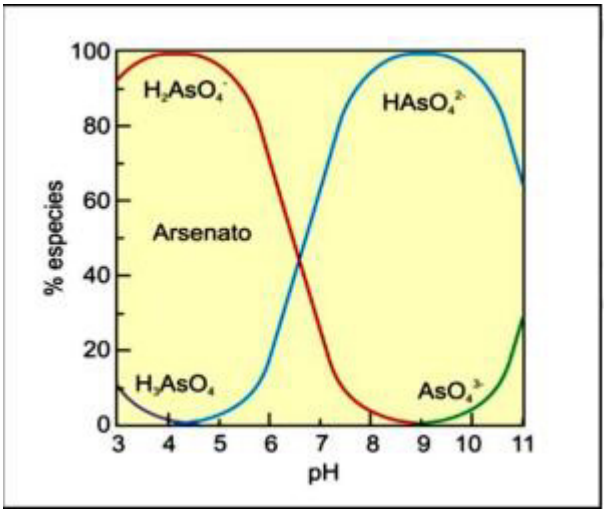
Las sustancias compuestas de arsénico han sido empleadas en una vasta diversidad de artículos, que incluyen desde colorantes y remedios farmacológicos hasta plaguicidas, conservantes para maderas, eliminadores de malezas, vidriería y depiladores utilizados en el sector del curtido de pieles. Desde épocas remotas, se han reconocido las características venenosas del arsénico, que ha sido aprovechado como componente en artefactos de conflicto químico, así como en episodios de homicidios y autolisis. En las corrientes acuáticas naturales, el arsénico puede hallarse en múltiples configuraciones disueltas. No obstante, no se presenta como iones As^{3+} o As^{5+}, sino bajo la forma de oxianiones. En su estado de valencia trivalente (As III), el arsénico produce H3AsO3,

mientras que en su forma pentavalente (As V) genera H3AsO4. Debido a que se comporta como un ácido débil, las moléculas de arsénico tienen una baja tendencia a ionizarse y formar especies cargadas. Las formas químicas del arsénico son influenciadas por el pH del medio (Howe et al., 2016). En el país, el límite permisible para este elemento se ha fijado en 0.01 mg/L, (D.S. N° 031-2010-SA).

De esta manera, tal como se representa en las Ilustraciones 1 y 2, la diferenciación de las formas químicas del arsénico presente en soluciones acuosas está influenciada por elementos como la acidez o alcalinidad (pH), el estado redox y otras particularidades químicas, además de la interacción con procesos biológicos. En cuerpos de agua superficiales con abundancia de oxígeno, predomina el arsénico en su estado pentavalente (V); por el contrario, bajo condiciones de carácter reductor, como sucede en aguas subterráneas, prevalece su variante trivalente (III). Asimismo, un aumento en la alcalinidad podría desencadenar un incremento en su concentración.

Figura 1

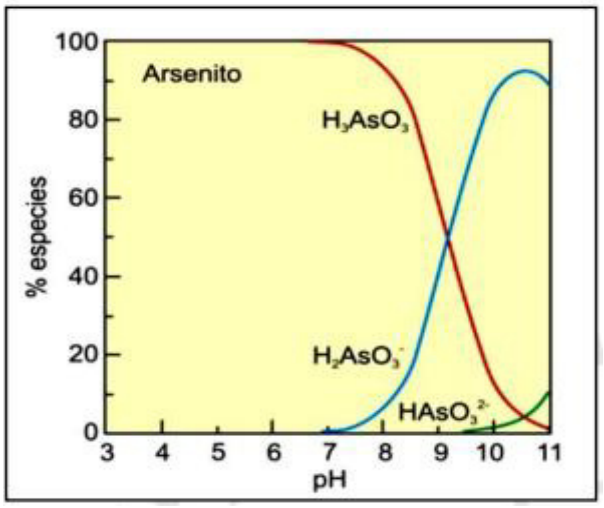
Especies de As (V) como función de pH



Nota. En base al pH.

Figura 2

Especies de As (III) como función de pH



Nota. La especiación dependerá del pH.

Según lo ilustrado en ambas figuras, la diferenciación química del arsénico se encuentra condicionada por un cúmulo de variables, entre ellas la acidez o alcalinidad del entorno circundante; tales transformaciones revisten relevancia dado que modifican su capacidad de desplazamiento, accesibilidad biológica y nocividad. En consecuencia, la escala de pH constituye un elemento determinante a tener en cuenta al analizar las peculiaridades dinámicas del arsénico.

2.2.3.2. Plomo.

Conforme a lo señalado por Sánchez (2014), el plomo constituye una sustancia química dúctil y moldeable, representada simbólicamente por las letras Pb. Sobresale por su facilidad para licuarse y presenta estados de oxidación de +2 y +4. A una temperatura de 20 °C, exhibe una densidad específica de 11.342 kilogramos por metro cúbico. Su umbral de licuefacción se encuentra en 327.46 °C, mientras que su temperatura de vaporización alcanza los 1749 °C. Este elemento metálico es intratable en agua y muestra resistencia frente a ácidos como el sulfúrico y el clorhídrico, aunque se disuelve

paulatinamente en líquidos acidulados. Adicionalmente, el plomo posee la peculiaridad de soportar la corrosión del aire circundante y puede comportarse como una sustancia anfótera, generando múltiples compuestos salinos y óxidos en condiciones húmedas, donde se recubre con una película de óxido protector.

Tabla 3

Solubilidad de los compuestos de plomo

Forma química	Solubilidad en:	
	Agua	**Solventes orgánicos**
Plomo	Insoluble	Incapaz de diluirse
Acetato	2210 g L^{-1} a 50°C	Miscible en glicerol, apenas perceptible en álcalis
Cloruro	9.9 g L^{-1} a 20°C	Impenetrable en etanol
Cromato	0.2 mg L-1	Indisoluble en ácido etanoico
Nitrato	376.5 g L^{-1} a 0°C	Solubilidad de 0.4 gramos por litro en etanol absoluto y 13.33 gramos por litro en metanol anhidro.

Nota. Demuestra la solubilidad en agua y solventes orgánicos.

Tabla 4

Estimación de la emisión antropogénica del Pb hacia la atmósfera

Fuente	Emisión (Tn/año)
Incineración del carbón	
Generación de energía en centrales eléctricas	780 – 4,650
Uso fabril y hogareño	990 – 9,900
Quema de hidrocarburos	
Plantas termoeléctricas	230 – 1,740
Aplicaciones industriales y residenciales	720 – 2,150
Fundición de plomo: extracción y refinamiento	
Explotación minera	1,700 – 3,400
Elaboración de plomo	11,700 – 31,200
Fabricación combinada de plomo y níquel	11,000 – 22,100
Obtención de cadmio y zinc	5,520 – 11,500
Otros	

Manufactura de acero	1,070 – 14,200
Fuentes móviles y transporte motorizado	248,030

Nota: Esta tabla muestra la emisión pro Tn/año de Pb a la atmósfera desde diferentes fuentes de emisión.

Según la World Health Organization (2024),el primer síntoma de intoxicación por plomo son los trastornos mentales, afectando el sistema nervioso central, reproductivo, hígado y riñones.

2.2.3.3. Cadmio.

Conforme a lo descrito por Minaya Villarreal (2014), el cadmio, identificado por su cifra atómica 48 y abreviado como Cd, es un elemento metálico de tonalidad blanca con un matiz azulado tenue. Aunque su presencia es poco frecuente, se inscribe entre los materiales metálicos de mayor nocividad. Su masa atómica alcanza los 112.40 gramos por mol, con una densidad específica de 8.65 a una temperatura de 20 °C. El cadmio puede manifestarse en dos grados de oxidación: +1 y +2, siendo este último el predominante debido a la inestabilidad del primero. En su forma primaria, el cadmio no existe de manera independiente, sino que se encuentra químicamente vinculado a otros metales como zinc, plomo y cobre, además de combinarse con elementos como oxígeno, cloro y azufre.

De igual manera, conforme a lo expuesto por Minaya Villarreal (2014), el cadmio figura entre los contaminantes preponderantes vinculados a la degradación ambiental y los procesos industriales. Su letalidad radica en los efectos nocivos que ejerce tanto sobre la salud humana como sobre los ecosistemas. Este elemento metálico posee la facultad de acumularse biológicamente, lo que le confiere la capacidad de persistir en el entorno y desplazarse a extensas distancias mediante corrientes aéreas y fluviales. Adicionalmente,

el cadmio emerge como derivado secundario durante las operaciones de refinamiento metalúrgico del zinc y el plomo, a partir del sulfuro de cadmio, generando óxido de cadmio, un compuesto de extrema peligrosidad.

2.2.4. Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua

Conforme al Colectivo de Hidrología Hipogea (2018), la excelencia hídrica para irrigación resulta primordial debido a su impacto inmediato en los estratos edáficos y, por consiguiente, en los sembradíos. Durante el proceso de riego, el terreno terrestre incorpora sales que pueden aglomerarse paulatinamente, particularmente cuando los vegetales extraen el líquido vital y la evaporación acontece en la capa superficial. Los efectos asociados a la pureza del agua dependen de las peculiaridades del terreno, del género de cultivo y de las circunstancias meteorológicas.

Los indicadores de idoneidad hídrica para irrigación están determinados por la Ordenanza Superior N° 004 – 2017 – MINAM, que establece los Cánones Patrios de Salubridad Ambiental (CPSA), bajo la vigilancia de ANA. En el Cuadro 5 se consignan los valores de dichos CPSA, los cuales son fundamentales para la elaboración de esta indagación.

Tabla 5

Atributos fisicoquímicos de la excelencia del liquido

Parámetros para agua destinada al riego de vegetales		
Parámetro	**Unidad**	**ECA**
FísicosQuímicos		
Conductancia	µS/cm	2500
Oxígeno Incorporado	mg/L	4
(pH)	Unidad de pH	6.5-8.6
(Aniones Sulfúricos)	mg/L	1000
Calorímetría	°C	3
(Compuestos Nitrosos)	mg/L	10
Inorgánicos		

Arsénco (	mg/L	0.1
Ferrum	mg/L	5

Nota: Parámetros establecidos para el riesgo de vegetales. Basado en la información del MINAM.

2.2.4.1. Conductividad.

La conductancia alude a la aptitud de un fluido acuoso para transmitir flujo eléctrico. Este atributo se ve condicionado por la densidad total de los iones presentes y por el grado térmico en el que se realiza la evaluación. Por norma general, las disoluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos actúan como excelentes transmisores eléctricos, mientras que las estructuras moleculares de sustancias orgánicas que no se fragmentan en agua exhiben una capacidad disminuida para vehicular electricidad.

2.2.4.2. Oxígeno Disuelto.

Según Patricia Prieto (2019), la cantidad de O2 en cuerpos de agua naturales y residuales está influenciada por diversas actividades físicas, químicas y bioquímicas dentro del ecosistema acuático. Las variaciones en estos niveles pueden atribuirse a elementos como el cambio de gases, la fotosíntesis y ingesta de oxígeno durante la respiración, así como a otros procesos ambientales. El *aeriforme combinado* resulta imprescindible para innumerables mecanismos, abarcando la *síntesis luminosa*, las interacciones de *oxidación-reducción*, la *dilución* de *compuestos minerales* y la *desintegración* de sustancias *biodegradables*. No obstante, persisten múltiples *organismos microscópicos*, como bacterias, hongos y protozoos, que pueden sobrevivir sin oxígeno. Algunos son anaerobios facultativos, mientras que otros son aerotolerantes y no utilizan oxígeno; además, en ciertos organismos, el oxígeno puede resultar tóxico o inhibir su crecimiento.

2.2.4.3. Potencial de Hidrógeno.

Conforme a Agriculture Water and Irrigation Unit (2016), la evaluación del potencial de hidrógeno examina el balande de los iones catiónicos hidrogenados (H^+) y los aniones hidroxídicos (OH^-). Este escrutinio permite catalogar el líquido como básico (pH > 7), equilibrado (pH = 7) o agrio (pH < 7).

En lo concerniente al abastecimiento hídrico agrícola, el intervalo ideal de potencial hidrógeno para la mayoría de las especies vegetales oscila entre 5.5 y 8.5. Si el pH supera el valor de 8, el carbonato cálcico presente en el sustrato puede cristalizarse, ocasionando posibles bloqueos en los dispositivos de irrigación. Contrariamente, un pH por debajo de 6 podría inducir degradación electroquímica en los conductos y elementos metálicos acoplados. Adicionalmente, un pH inferior a 4 tiene el potencial de intensificar la acidez edáfica, lo cual podría comprometer adversamente el desarrollo fisiológico de las plantas.

2.2.5. Tecnologías para Descontaminación de Aguas

Tal como afirma Jiménez-Cedillo (2013), se han precisado diversos meduospara la descontaminación de liquidos superficiales por presencia de metales pesados, los procesos más tradicionales incluyen precipitación, intercambio de iones, filtración por membrana, electrodeposición, adsorción, pero estos métodos presentan inconvenientes como demerito con la química, energía como requisito, la formación de lodos peligrosos, una eficiencia baja para remoción de metales pesados, altos costos entre otros. Asimismo, el alto precio y limitada reutilización de la aplicación del carbón activado, hace que este adsorbente de metales pesados también tenga limitaciones. Es así como la biosorción ha surgido como una nueva tecnología prometedora, el cual tiene ventajas como, bajo costo, no necesita nutrientes adicionales, fácil operación, potencial de recuperación de metales, y sin efetos perjudiciales para el medio ambiente.

Tabla 6

Comparación de diferentes tecnologías para desaparecer los metales

Métodos	Desventajas	Ventajas
Química Precipitación	Grandes cantidades de lodo Costo operacional adicional para la eliminación de lodos	Una operación simple, barata, puede eliminar la mayoría de los metales
Química coagulación	Alto costo Gran consumo de productos químicos	La sedimentación de lodo Deshidratación
Intercambio de iones	Alto costo Menos cantidad de iones metálicos removidos	Alta regeneración de materiales Metal selectivo
Electroquímica métodos	El alto capital y el costo de funcionamiento El pH y la densidad de corriente	Metal selectivo No hay consumo de productos químicos Se pueden conseguir metales puros
La adsorción mediante El carbono activado	El costo del carbón No hay regeneración El rendimiento depende del adsorbente	Muchos elementos pueden removerse Alta eficiencia (>99%)
Biosorción	Saturación temprana, potencial limitado de mejora de los procesos biológicos, no potencial para alterar biológicamente el estado de valencia del metal	Bajo costo, alta eficiencia, minimización de los lodos, regeneración de biosorbentes, sin nutrientes adicionales requisito, la recuperación de metales
Membrana filtración	Alto costo operacional por la polucion	Requerimiento de espacio pequeño, baja presión, alta separación selectividad
Electrodiálisis	Alto costo operacional debido al ensucie de estos	Alta selectividad de separación
Fotocatálisis	Larga duración, aplicaciones limitadas	Eliminación de metales y contaminantes orgánicos simultáneamente, subproductos menos dañinos

Nota. El subsiguiente cuadro ilustra los pros y contras de las variadas metodologías para la erradicación de elementos metálicos de elevada densidad. Fundamentado en el claustro académico de Universidades Internacionales.

2.2.5.1. Biosorción.

Conforme a Salazar y Zea (2015), la bioadsorción se manifiesta como una alternativa técnica y financieramente factible, sobresaliendo por su efectividad en la purificación y su reducida exigencia presupuestaria. Asimismo, se cataloga como un mecanismo ecológico para la erradicación de compuestos metálicos densos hallados en vertidos fabriles.

Dentro de las vanguardias tecnológicas incipientes, la biosorción ascendió como el método predominante para la retención de numerosas variedades, empleando material biológico, ya sea vital o inerte.

2.2.5.1.1. Biosorción y Medio Ambiente.

Es una alternativa que respeta el medio ambiente, ya que usa compuestos biodegradables que son fácilmente producibles en grandes cantidades, además que la biomasa empleada no emite dióxido de carbono adicional cuando se quema.

2.2.5.1.2. Biosorción y Perspectivas Futuras.

Según Salazar & Zea (2015), el caso de la biosorción como tecnología prometedora para la eliminación de metales pesados, ha sumado muchos esfuerzos para poder desarrollar más métodos con diferentes aplicaciones de biomasa, diseño de moléculas, unión de metales, hasta el uso de microbianos. Estas investigaciones se enfocaron principalmente para eliminación de metales tóxicos en aguas, pero hay muy pocos estudios que describan la recuperación de metales preciosos o metales con valor, por lo cual, la Biosorción espera poder desarrollarse aún más con investigaciones futuras.

2.2.5.1.3. Biosorbentes a Base de Residuos.

Según Alarcon (2018), los biosorbentes a base de residuos pueden surgir de las diferentes partes de una planta, como por ejemplo la corteza, hojas, tallo, flor, raíz, el

fruto, su cáscara, salvado y hueso, principalmente se componen de celulosa, hemi-celulosa y lignina, por lo que estas son condiciones buenas para fijar metales pesado. Asimismo, los captadores biológicos derivados de desechos albergan una gama heterogénea de configuraciones moleculares operativas, tales como acetamida, ácido carboxílico, derivados fenólicos, polisacáridos esqueletales, fécula, aminas, sulfhidrilos, ácidos carboxílicos, compuestos alcohólicos y ésteres. Estas estructuras funcionales poseen la aptitud para permutar protones de hidrógeno por cationes metálicos en soluciones líquidas o para ceder pares electrónicos y engendrar enlaces coordinados con dichos cationes metálicos en medios líquidos.

2.2.5.1.4. Ventajas de Usar los Biosorbentes a Base de Residuos Agrícolas.

De acuerdo con Sara Timosthe et al. (2022), la primigenia superioridad de emplear captadores biológicos elaborados a partir de remanentes en contraste con los adsorbentes tradicionales radica en su notable afinidad y elevada especificidad hacia elementos metálicos densos. Esto se atribuye a su amplia capacidad de interacción del metal con las superficies de dicho tipo de material biológico, además de su reducido desembolso económico y su profusa existencia proveniente de fuentes agropecuarias. Asimismo, los residuos agrícolas son fácilmente procesados, aplicados y recuperados, sin perjuicios para el medio ambiente, y la ventaja que resalta para la conservación del medio ambiente de parte de la aplicación de los residuos agrícolas es que, la reutilización de estos desechos, subproductos agrícolas para el tratamiento de los metales pesados contribuye a disminuir el impacto de los residuos agrícolas al medio ambiente, consiguiendo la gestión eficaz de residuos de una forma innovadora y sostenible.

2.2.5.1.5. Elementos que Afectan a la Biosorción de los Metales Pesados.

De acuerdo con lo sostenido por Calixto Domínguez y Gaona López (2019), el mecanismo de atrape biológico de elementos metálicos densos provenientes de líquidos

puede ser condicionado por un abanico de circunstancias físico-químicas, tales como el nivel de acidez o basicidad (pH), la calidez ambiental, la proporción inicial de los metales pesados, la magnitud de la dosis de capturador biológico, la dimensión del bioadsorbente, la intensidad de la interacción iónica, la presencia de iones acompañantes, entre otros. Estas variables inciden en la eficacia total del proceso, modificando la velocidad de absorción, la especificidad del captador y la cantidad total de metales retirados.

Entre las variables operativas, el nivel de acidez (pH) ostenta un rol trascendental al gobernar el atrapamiento biológico de los metales pesados. Las variaciones en los valores de pH influyen sobre la polaridad de los desechos agrícolas, ionización de los compuestos y la forma química específica de los metales presentes, así como en la rivalidad entre los iones metálicos y los demás componentes coexistentes en la solución. Habitualmente, conforme se incrementa el pH de una mezcla, la captura de metales de carga positiva mediante bioadsorción se intensifica, mientras que la de los metales de carga negativa tiende a decrecer.

Conforme a lo expuesto por Jonathan Sánchez et al. (2020), a medida que el nivel de acidez (pH) se encuentra en valores más bajos, la totalidad de la carga electrostática en la superficie de los restos agroindustriales tiende a tornarse positiva. En tales condiciones, los protones (H^+) se enfrentan de manera eficaz con los iones metálicos de carga positiva, ocasionando una merma en la aptitud de retención biológica de estos metales. Conforme el pH se eleva, las superficies de los desechos agrícolas adquieren progresivamente una polaridad negativa, favoreciendo la adhesión de los iones metálicos debido a la atracción electrostática entre cargas opuestas. Sin embargo, en niveles extremadamente altos de pH, el fenómeno de biosorción cesa y se da paso a la formación de precipitados de hidróxidos.

En conformidad con Tejada, Villabona y Osorio (2019), la densidad preliminar de partículas cargadas de elementos metálicos pesados puede desplazarse desde el líquido a la cubierta externa de remanentes de origen agrícola, impulsada por el ímpetu vectorial derivado de dicha densidad. Diversas indagaciones han corroborado que la magnitud cúspide de fijación molecular de un remanente agrícola específico se incrementa con el aumento de la densidad preliminar del metal. No obstante, este ascenso en la densidad también puede culminar en una merma en la eficacia de extracción. Este comportamiento responde a la sobresaturación de los espacios receptores disponibles en la capa superficial de los remanentes agrícolas. Adicionalmente, se ha documentado que la velocidad de transferencia de partículas metálicas desde el fluido hacia la cubierta de los remanentes es inferior bajo estas circunstancias. Por ende, resulta imperativo profundizar en la indagación para desentrañar esta discrepancia señalada en la bibliografía científica.

2.2.5.1.6. *Mecanismos Implicados en la Biosorción de Metales Pesados*.

Es factible discernir una pluralidad de procesos que dilucidan la captura o inmovilización de elementos metálicos en diversas regiones del material bioadsorbente.

Tabla 7

Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados

Mecanismos	Definición
Complejación	El mineral sólido establece conexión con las regiones operativas de la barrera celular mediante ligaduras moleculares, configurando estructuras específicas de coordinación.
Adsorción física	La interacción entre la superficie adsorbente y el elemento metálico ocurre debido a vínculos de atracción electrostática. En este escenario, la adsorción biológica es revertible y de naturaleza expedita.
Intercambio iónico	Característico de los iones metálicos bivalentes, que se reemplazan por los cargos iónicos presentes en los polisacáridos, dado que una proporción significativa de los

	materiales adsorbentes integra en su estructura compuestos de Na+, K+, Ca^{2+} y Mg^{2+}.
Quimiosorción	El acoplamiento entre el adsorbente y el metal se realiza mediante uniones químicas, a través de la transferencia de partículas subatómicas negativas en una reacción molecular.
Precipitación	Está vinculado a un mecanismo protector de determinados organismos microscópicos, capaces de generar compuestos precipitados que neutralizan las sustancias nocivas almacenadas internamente o dispersas en el entorno circundante.

Nota. Describe la definición de cada uno de los mecanismos implicados.

2.2.6. Tuna

Según Licares Eguavil (2019), se expone que la *Opuntia ficus-indica*, comúnmente llamada tuna, constituye un recurso primordial dentro de los sistemas agrosilvopastoriles característicos de las altiplanicies andinas peruanas. Este cactáceo, conocido bajo múltiples denominaciones tales como tunal, es extensamente cultivado en el continente americano.

En el contexto de esta investigación, sobresale el área de San Cristóbal en Moquegua, donde la tuna constituye una destacada fuente de recursos económicos para las poblaciones locales. Su ingesta se lleva a cabo primordialmente en su estado fresco y es apreciada tanto por su contenido en micronutrientes esenciales como por sus cualidades astringentes y antisépticas. El cultivo y la utilización de este vegetal espinoso han sido elementos fundamentales de la tradición cultural de la región a lo largo de los siglos.

2.2.6.1. Clasificación Taxonómica.

- ✓ **Dominio:** *Plantae*
- ✓ **Categoría:** *Antophyta* (*Portadoras de flores*)
- ✓ **Grupo:** *Magnoliopsida* (*Plantas dicotiledóneas*)
- ✓ **Rama secundaria:** *Archyclamidea* o *Coripétala* (*Flores con pétalos separados o reducidos*)
- ✓ **Clasificación:** *Opuntiales* (*Cactales* - plantas cactiformes)

- ✓ **Agrupación familiar:** *Opuntiaceae* (*Cactáceas*)
- ✓ **Sección familiar:** *Opuntioideae* (*Subgrupo de cactáceas caracterizado por segmentos articulados*)
- ✓ **Conjunto genérico:** *Opuntia* (*Cactos espinosos de frutos comestibles*)
- ✓ **Tipo específico:** *Opuntia ficus-indica* (*Higo chumbo o tuna*)
- ✓ **Variante subespecífica:** *Opuntia megacantha* (*Tuna desprovista de espinas*) y *Opuntia streptacantha*.

2.2.6.2. Composición Química y Nutricional.

La *tuna* es un fruto sumamente apreciado por su sabor distintivo, fragancia característica y sus atributos alimenticios. Su aporte nutricional destacado engloba una significativa cantidad de energía calórica, un elevado porcentaje de contenido hídrico y una notable concentración de elementos minerales, con especial énfasis en el calcio y el fósforo. (Ver Tabla 8)

Tabla 8

Composición nutricional de la tuna

Composición	Variedades de Tuna		
	Blanca	**Morada**	**Amarilla**
Química:			
Calorías	58.00	58.00	53.00
Humedad	82.30	83.50	83.50
Proteínas	0.90	0.60	0.60
Grasas	0.00	0.00	0.00
Carbohidratos	15.30	15.50	15.50
Fibra	3.80	3.70	3.70
Minerales (mg):			
Calcio	16.00	40.00	38.00
Fósforo	26.00	39.00	39.00
Hierro	0.30	0.20	0.30
Vitaminas (mg):			
Caroteno	0.01	0.01	0.01
Riboflavina	0.03	0.04	0.04
Ácido ascórbico	13.00	25.50	25.00

Nota. Esta tabla precisa el componente químico, mineral y nutricional.

2.2.6.3. Características fisicoquímicas de laTuna (*Opuntia ficus-indica*).

La estructura química de la cáscara de la tuna experimenta fluctuaciones debido a una serie de elementos que afectan tanto el desarrollo vegetal como la generación del fruto. Entre estos condicionantes se encuentran la localización geográfica, la estación del año, el volumen de lluvias recibidas, entre otros aspectos relevantes.

Tabla 9

Características fisicoquímicas de las distintas porciones del fruto (g/100g de peso fresco)

Determinaciones	Pulpa + Semilla	Pulpa + Cáscara	Pulpa	Cáscara
	X	X	X	X
Sólidos solubles (°Brix)	14,8 c	14,3 b	14,8 c	14,0 a
Humedad	78,31 a	84,62 c	84,95 d	83,84 b
Sólidos totales	21,69 d	15,38 b	15,05 a	16,16 c
pH	6,31 c	5,48 b	6,31 c	4,85 a
Acidez total titulable (en ácido cítrico)	0,07 a	0,15 b	0,07 a	0,18 c
Extracto etéreo	0,49 b	0,04 a	0,04 a	0,05 a
Proteínas (N * 6,25)	0,95 d	0,42 b	0,52 c	0,33 a
Cenizas	0,67 b	0,92 c	0,20 a	1,17 d
Azúcares totales	10,29 c	9,93 b	10,46 d	8,98 a
Azúcares reductores	8,07 c	7,15 b	8,54 d	6,35 a
Fibra cruda	3,24 c	0,25 b	0,05 a	0,44 d
Pectina	0,26 a	0,66 b	0,18 a	1,16 c
Acido ascórbico (mg/100g)	15,99 c		12,70 b	11,99 a

Nota. Se precisar discrepancias significativas para $p \leq 0,05$.

2.3. Definición de Términos

- ✓ Biosorbentes: Conforme a lo descrito por Acharya (2018), son sustancias derivadas de entidades microscópicas tales como bacterias, mohos, algas marinas, vegetación o ciertos compuestos poliméricos naturales. La presencia de conjuntos funcionales oxigenados, particularmente carboxilos, carbonilos, fenoles y lactonas, dentro de su configuración estructural, favorece la captura de cationes metálicos.
- ✓ Biosorción: La bioadsorción constituye un mecanismo inerte, lo cual implica que el bioadsorbente no necesita realizar actividades metabólicas para operar. Este mecanismo abarca la interacción entre partículas iónicas metálicas y las

estructuras funcionales de biopolímeros localizados en las membranas celulares de organismos desprovistos de vida.

Se define la biosorción como la capacidad de los materiales biológicos para adsorber metales tóxicos en la superficie de la pared celular o membrana, alcanzando un estado de equilibrio en el proceso.

- ✓ Carga Catiónica: también conocidos como micronutrientes, son necesarios para los organismos en cantidades mínimas. Las plantas superiores requieren de 7 oligoelementos principalmente para su subsistencia. Estos se pueden clasificar en dos categorías: aquellos que se convierten en cationes como el hierro, manganeso, zinc y cobre, y aquellos que forman aniones como el cloro, boro y molibdeno.
- ✓ Ceniza: La incineración de la materia orgánica modifca su composición. Durante este proceso, las sales metálicas presentes en los ácidos orgánicos se transforman en óxidos o carbonatos o pueden reaccionar para formar fosfatos, sulfatos o haluros. Algunos elementos, como el azufre y los halógenos, pueden no ser completamente atrapados en las cenizas y se pierden debido a su volatilización.

  Las cenizas resultantes reflejan el contenido en minerales de los alimentos y, por lo general, representan menos del 5% de la materia seca total.
- ✓ Desmetoxilación: Se escruto el poder de eliminación de Cr (VI) en liquido sintética empleando restos de plátano y naranja. Este proceso elimina un grupo metoxilo (-OCH3) de una molécula, y puede ocurrir tanto en contextos químicos como bioquímicos.
- ✓ Metales: Según lo expuesto por Oyarse (2021) n o todos los metales son tóxicos; de hecho, algunos son esenciales para el organismo humano. Sin embargo, en términos generales, se considera que los metales minerales pueden ser perjudiciales. La toxicidad de los metales pesados está relacionada con su impacto

ambiental. Por ejemplo, el mercurio es extremadamente dañino para el entorno, al igual que el plomo, que resulta tóxico al entrar en contacto directo con los seres humanos y cuya exposición ambiental puede provocar daños irreversibles. Aunque el cadmio y el talio se encuentran en menores concentraciones, también representan un riesgo ambiental significativo. Metales como el cobre, el zinc y el cromo, a pesar de su uso común en la industria, pueden causar problemas de salud graves cuando entran en contacto directo con las personas. Además, metales más ligeros como el berilio y el aluminio, aunque no son considerados pesados en su totalidad, pueden ser tóxicos con la exposición humana. Lo mismo ocurre con el arsénico, que se clasifica como un semimetal y también puede generar toxicidad.

- ✓ Residuos Agrícolas: Conforme a lo expresado por David Carchi (2014), se trata de los sobrantes emanados durante la labranza de múltiples variedades botánicas, particularmente en el proceso de recolección, que no están destinados al consumo antropófago. Esta clasificación engloba elementos como cañutos, frondas, envolturas, cortezas externas, vainicas y pepitas, así como rastrojeras de cereales. Asimismo, incluye subproductos de plantaciones como el café, el cacao, el té y diversos frutos (por ejemplo, el plátano, el mango, el cocotero y la ananás), además de leguminosas como el tomate, la soya y el frijol, junto con la palma oleaginosa. A escala global, se generan incontables megatoneladas de estos desperdicios, los cuales representan una fuente copiosa y asequible de biomasa lignocelulósica. No obstante, únicamente una fracción ínfima se aprovecha para la manutención pecuaria o como carburante doméstico; el grueso es incinerado en los campos, lo que exacerba los inconvenientes vinculados con la polución atmosférica.

- ✓ Reticulación: Según Lucía de la Cruz et al. (2024), el grado de reticulación tiene una elevada influencia sobre las propiedades físicas (porosidad, hinchamiento resistencia mecánica).
- ✓ Sistema de batch: Según Pedro Bozzeta (2018), implica la mezcla y agitación de una cantidad específica del compuesto que se desea adsorber con soluciones que contienen diferentes concentraciones del soluto en cuestión.

III. Metodología

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Nivel de investigación

Este es al *nivel explicativo* (Arias F. G., 2012).

Tabla 10

Nivel de investigación

Criterio	Nivel de investigación
Relación causa - efecto	explicativa

Nota. Según el criterio y el nivel de investigación.

3.1.2. Tipo de investigación

Este se puede caracterizar: *experimental, prospectivo, transversal, comparativo.*

Tabla 11

Características del tipo de escrutinio

Criterio (por el /la)	Tipo de investigación
Intervención del investigador	Experimental
Periodo	Prospectivo
Evolución del fenómeno estudiado	Transversal
Comparación de la población de estudio	Comparativo

Nota. La tabla señalada el tipo de estudio de la investigación.

3.2. Ámbito Temporal y Espacial

El actual escrutinio dio en las instalaciones de la UNAM – Universidad Nacional de Moquegua, puntualmente en el Laboratorio de Procedimientos Industriales y

Ambientales, el Laboratorio de Aguas y en el Lab. de Suelos pertenecientes a la facultad Ambiental; de igual modo, se gestionó la utilización del Laboratorio adscrito a la Especialidad de Ingeniería Pesquera. La disertación se materializó entre el duodécimo mes del año 2020 y el undécimo mes del año 2021.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Alude al conglomerado íntegro de elementos, ya sean individuos u objetos, que participan en el acontecimiento particular bajo escrutinio. En el marco de esta investigación, la colectividad se halla constituida por la tuna del elemento generada en la región Moquegua, englobando los territorios de Mariscal Nieto y Sánchez Cerro, donde se aglutinan los cultivadores de dicha cactácea. Y, se comercializan en varias provincias, como es el caso de la provincia de Ilo, para los fines de la actual disquisición.

3.3.2. Muestra

La modalidad de selección corresponde al muestreo no aleatorio por conveniencia, conforme al juicio del indagador (Manterola, 2017). La obtención de muestra se efectuó a partir de una de las mercaderas que despacha frutos en el Óvalo de Nuevo Ilo, Pampa Inalámbrica, Ilo, Moquegua. Para este emprendimiento de pesquisa, se manipuló un cúmulo total de 106,99 kilogramos de cáscara de tuna, logrando extraer 1,60 kilogramos de pulpa triturada como ejemplar definitivo destinado a la implementación del esquema experimental.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Equipos

- **Agitador de tamices**, manufactura Matest.

 Mezclador magnético con calentador y superficie de cerámica, marca Velp Scientifica.

 Agitador orbital con movimientos oscilatorios intercambiables, denominación Lab Companion OS-3000.

 Dispositivo para análisis de humedad, precisión a dos decimales (0.01%), marca Sartorius, modelo MA37-1.

 Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 miligramos, marca Sartorius, referencia Entris 2241-1S.

 Báscula electrónica de 40 kilogramos, fabricada por Opalux.

 Cabina de seguridad para extracción de gases, de la marca ESCO, modelo EFD-4B8.

 Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS, marca Thermo, equipado con detector de matriz de diodos, ancho de banda de 0.1 nanómetros, y celda de vidrio con trayecto óptico de 1.0 centímetro.

 Estufa, producido por Pol-Eko-Aparatura SP.J.

 Trituradora de martillos, de la firma Vulcano.

 Instrumento multiparámetro portátil, marca HACH, modelo HQ40D.

 Mufla para altas temperaturas, manufacturada por Protherm Furnaces, modelo PLF 150/9.

3.4.2. Materiales de laboratorio

- ✓ Bandejas de metal
- ✓ Buretas
- ✓ Cooler

- ✓ Embudo de vidrio
- ✓ Embudos de vidrio
- ✓ Espátulas
- ✓ Frasco de vidrio
- ✓ Frascos de plástico blanco de 250 ML.
- ✓ Ice pack
- ✓ Matraces Erlenmeyer de 200 mL
- ✓ Micropipetas
- ✓ Mortero
- ✓ Papel filtro
- ✓ Papel Filtro Whatman GF/C-47 mm
- ✓ Parafilm
- ✓ Pipetas
- ✓ Pizeta
- ✓ Vaso de 100 mL, 250 mL, 500mL.

3.4.3. Reactivos

- ✓ Ácido Clorhídrico 99% (HCl) P.A.
- ✓ 99% (NaOH) P.A.
- ✓ Cloruro de Calcio
- ✓ 99% (KNO_3) P.A.
- ✓ Elemento base de Arsénico, H3AsO4, de 1000 mg/L As, Supelco.
- ✓ Elemento base de Plomo, Pb(NO3)2, de 1000 mg/L Pb, Merck.
- ✓ Elemento base de Cadmio, Cd(NO3)2, de 1000 mg/L Cd, Supelco.

3.4.4. Otros

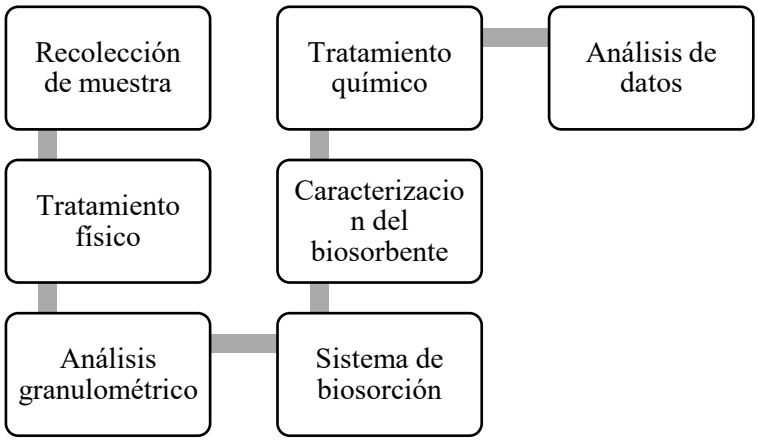
- ✓ Balde de 20 L, transparente, con dispensador.
- ✓ Bolsa Zic Ploc con cierre hermético.
- ✓ Cuaderno
- ✓ Guantes de nitrilo
- ✓ Laptop
- ✓ Lentes de protección
- ✓ Mandil o guarda polvo
- ✓ Molino manual, marca Corona.

3.5. Procedimientos

La indagación constó de 07 etapas procedimentales iniciando por la colecta de data y culminando con el proceso de análisis de datos (Ver Figura 3), el tratamiento físico y el tratamiento químico se subdividen en 05 etapas. (Ver Figura 4 y Figura 5)

Figura 3

Diagrama general de la cáscara de tuna

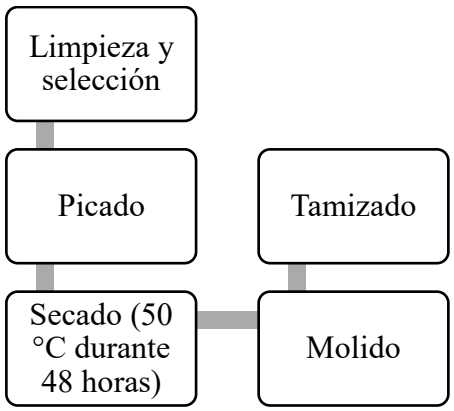


Nota. Muestra las etapas procedimentales aplicadas en el proyecto de investigación.

En la Figura 3 se exhibe el esquema de la cáscara de tuna empleado en la vigente indagación científica. La secuencia inició con la obtención del material proveniente de mercaderes de Ilo. Consecutivamente, se llevaron a cabo las manipulaciones físico-químicas, culminando con la implementación del fenómeno de biosorción. Asimismo, se efectuó una evaluación del adsorbente biológico, abarcando un escrutinio granulométrico como componente integral del análisis conclusivo de la pesquisa.

Figura 4

Diagrama del tratamiento físico de la cáscara de tuna

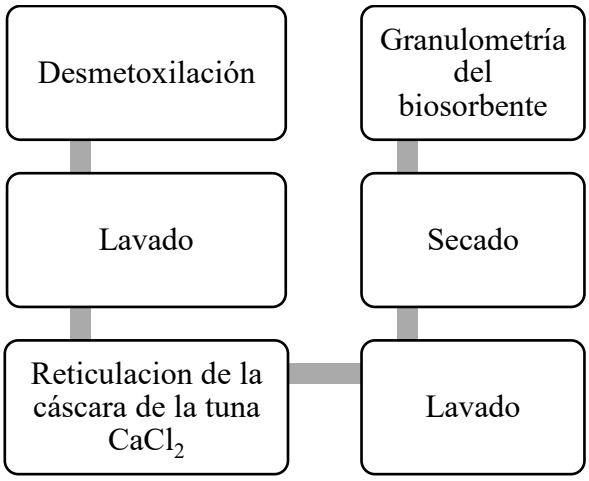


Nota. Tratamiento físico aplicado a la cáscara de la tuna en el proyecto de investigación.

La Figura 4 muestra el tratamiento físico de la cáscara de tuna. Este proceso permite garantizar la calidad de biosorbente, abarcando desde la limpieza inicial y la selección del biosorbente hasta el tamizado y clasificación por tamaño. La limpieza y selección aseguran que el material esté libre de impurezas, mientras que el tamizado asegura la obtención de fracciones de tamaño adecuadas para maximizar la eficiencia del biosorbente en la posterior aplicación de biosorción.

Figura 5

Diagrama del tratamiento químico de la cáscara de tuna



Nota. Tratamiento químico aplicado a la cáscara de la tuna en el proyecto.

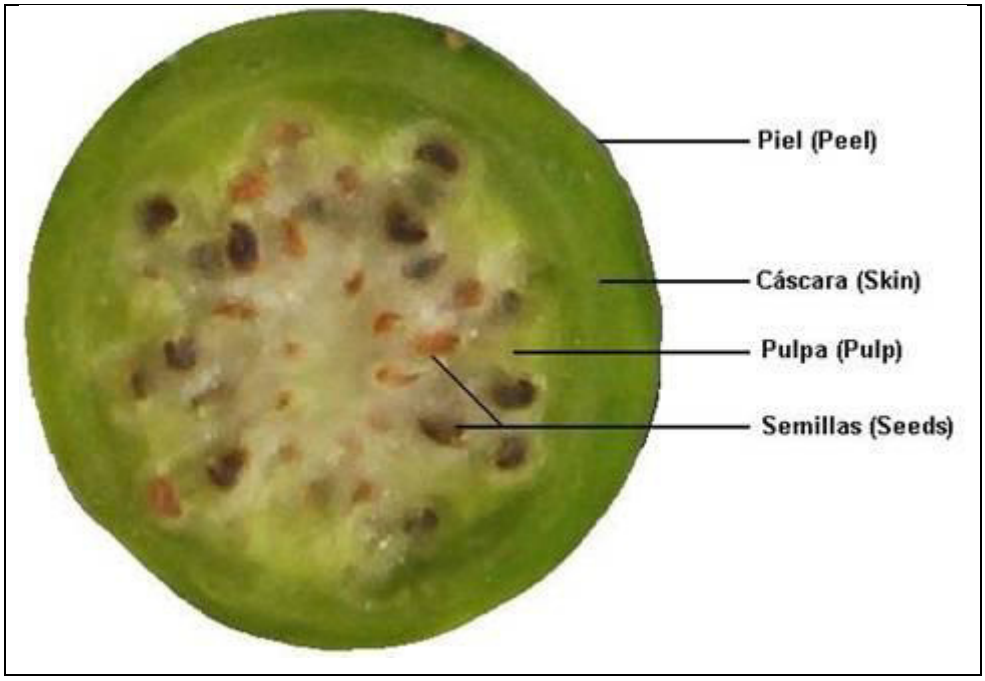
Se precisan las etapas de tratamiento químico aplicado a la cáscara de tuna, que incluye varias etapas fundamentales. Primero, la desmetoxilación, que implica la eliminación de grupos metoxilo de estructura molecular. Esta modificación química es esencial para mejorar las propiedades de sorción del biosorbente. Este proceso culmina con el análisis granulométrico del biosorbente, esto permitió asegurar que esté preparado de manera óptima para su aplicación en los procesos de biosorción.

3.5.1. Recolección de la Muestra (Biosorbente)

Siguiendo las recomendaciones de Licares Eguavil (2019), la biomasa (cascará de tuna) se obtuvo de los productores de Mariscal Nieto y fue recolectada de una comerciante que expende en el óvalo de Nuevo Ilo.

Figura 6

Cáscara de Tuna



Nota. Para el presente proyecto de indagación de trabajó con la cáscara de la tuna.

En ese proyecto se empleó la cascara, así como se muestra en la Figura 6. La elección de la cáscara se fundamenta en sus propiedades naturales que la hacen adecuada para los procesos de biosorción.

3.5.2. Tratamiento físico del biosorbente

3.5.2.1. Limpieza y Selección.

Tal como recomienda Licares Eguavil (2019), posterior a la colecta del elemento se realizó la selección de las cáscaras, eliminado las coronas y biomasa en mal estado, para evitar dañar el proceso. Se aseguró que las cáscaras de tuna se encuentren en buen estado y no en descomposición.

Seguidamente se realizaron lavados para evitar contaminación por agentes extraños:

Tabla 12

Especificación del lavado de la cáscara de tuna

Lavados de la cáscara de Tuna	
Lavado con agua potable	Se hizo uso de baldes de 20 litros y tinas del laboratorio para el correcto lavado de la biomasa, se aplicaron dos lavados a presión y fricción para eliminar impurezas, glucosa y fructuosa propio de la cáscara.
Lavado con agua destilada	Posteriormente se realizaron 06 lavados con agua destilada, se aplicó presión y fricción para eliminar impurezas, glucosa y fructuosa propio de la cáscara de Tuna *(Opuntia ficus indica).* Las muestras se quedaron en reposo por 24 horas para su posterior procedimiento.

Nota. La tabla describe los procedimientos ejecutados en la primera parte del tratamiento de la cáscara de tuna.

3.5.2.2. Picado.

Este proceso se realizó con tijeras desinfectadas, a una medida de 1 cm x 1 cm (Ver Figura 7) en el medio de la Procesos Industriales de la UNAM. Con el fin de lograr un mejor secado de la muestra y evitar su deterioro por la elevada presencia de pectina. Asimismo, impedir la proliferación de vectores durante la primera etapa de secado.

Figura 7

Cáscara de Tuna picada



Nota. El picado de la cáscara de la tuna es una de las partes fundamentales para garantizar un buen pretratamiento.

3.5.2.3. Secado.

Las muestras de cáscara pasaron por un proceso de secado el cual consistió en lo siguiente:

Tabla 13

Secado de las cáscaras de tuna

Procedimiento de secado de las cáscaras de tuna	
Secado natural	**Secado en la estufa**
Para este procedimiento de elaboró un mosquetero artesanal (para evitar la proliferación de vectores) y lograr un correcto secado. Las muestras secaron por 03 días, se realizaba la	Se realizó secado en una estufa a una temperatura de 50 °C durante 48 horas (Çiğdem Ömeroğlu Ay, December 2012). Las muestras se redujeron en un 90%.

supervisión diaria del estado de las muestras. Es importante remover las muestras para un secado uniforme**.**

Figura 8

Cáscara de Tuna en secado natural.



Figura 9

Cáscara de Tuna, secado en estufa.



Figura 10

Cáscara de Tuna sin presencia de vectores.



Figura 11

Cáscara de Tuna redujeron su tamaño



Nota. El secado de la cáscara de la tuna es una de las partes fundamentales para garantizar el buen estado del biosorbente.

3.5.2.4. Molienda.

Según Licares Eguavil (2019), las muestras deben pasar por un proceso de molienda. En ese sentido, en esta etapa se llevaron las muestras de cáscara de Tuna a los

laboratorios de Ing. Pesquera de la UNAM para ser molida en su moledora industrial. Aquí se registró una pérdida significativa de biomasa que se quedó retenida en el molino.

Figura 12

Cáscara de Tuna (Opuntia ficus indica) molida.



Nota. Se utilizaron sacos y plástico para evitar la pérdida de muestra en el ambiente.

En la Figura 12 se exhibe un procedimiento cardinal para la generación del adsorbente biológico: la pulverización. Este proceso permitió reducir el tamaño de la cáscara de tuna a partículas finas, facilitando así la clasificación granulométrica para el presente estudio.

3.5.2.5. Tamizado.

Para finalizar el trato físico de la cáscara de la tuna se dio la segregación de la biomasa de acuerdo con: 75 µm, 150 µm y 300 µm, con tamices A.S.T.M. N° 50, 100 y 200, durante 15 minutos. Estas muestras fueron reservadas en envases herméticos para su posterior tratamiento (Licares Eguavil, 2019).

3.5.3. Tratamiento químico del biosorbente

3.5.3.1. Desmetoxilación

De acuerdo con Licares Eguavil (2019), la desmetoxilación se realizó, de acuerdo con lo propuesto por el cual consiste en tomar la muestra de cáscara de tuna triturada previamente secada y desmetoxilar con NaOH 0.2 M. El revestimiento externo fue sometido a un acondicionamiento previo empleando una proporción de 100 mililitros de disolución alcalina de hidróxido de sodio por cada unidad ponderal del material bioadsorbente. Para ejecutar el procedimiento, se determinaron 35 unidades métricas del bioadsorbente, las cuales fueron ubicadas en un recipiente vítreo de capacidad cuádruple de litros. Posteriormente, se incorporaron 3.5 litros de disolución de hidróxido sódico (molaridad 0.2) y se dispuso el envase sobre un dispositivo de agitación magnética operando a una velocidad de 200 revoluciones por minuto, con el fin de garantizar una mezcla uniforme. Este proceso de agitación se mantuvo durante 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, se dejó reposar durante 4 horas para permitir la eliminación del agua sobrante. Es fundamental respetar este tiempo de reposo para obtener una muestra adecuadamente sedimentada y así evitar pérdidas.

La interacción del material con NaOH provoca rupturas intramoleculares en los enlaces de hidrógeno de la celulosa, lo que resulta en un hinchamiento del material. Este proceso también puede llevar al rompimiento químico mediante saponificación de las uniones éster que enlazan los polímeros xilánicos en la matriz de hemicelulosa, junto con otros constituyentes. Paralelamente, este acondicionamiento indica una proliferación en la generación de estructuras funcionales (o ubicaciones reactivas) susceptibles de interactuar con elementos metálicos como plomo en estado Pb (II), cadmio en estado Cd (II) y arsénico en estado As (V), lo que conlleva a un poder de retención de dichos elementos en medios de agua. De igual forma, se postula que este procedimiento podría

originar una mayor abundancia de cavidades físicas sobre la superficie del sustrato, facilitando así otros mecanismos de interacción molecular.

3.5.3.2. Lavado.

Se ejecutaron cinco lavados con liquido destilado para eliminar el exceso de solución alcalina presente en las muestras y lograr el pH neutro. Para verificar el pH, se tomó una muestra de 100 mL del último lavado, que fue filtrada utilizando papel filtro poroso fino, y siguiendo los protocolos establecidos para la medición.

3.5.3.3. Reticulación de la Cáscara de la Tuna.

Se recolectaron 35 gramos de cáscara desprovista de metoxilos y se incorporaron a un millar de mililitros de una disolución de Cl a una molaridad de 0.2. Más tarde, se calibró la acidez potencial hasta alcanzar un valor de 5 mediante la adición de ácido clorhídrico a concentrado en 0.1 molar. La combinación resultante se sometió a agitación continua a una velocidad de rotación de 200 revoluciones por minuto durante un lapso de 24 horas, utilizando un dispositivo magnético rotatorio. La finalidad de esta operación fue enlazar de manera intrínseca las cadenas del polímero para conformar entramados tridimensionales en su estructura, incrementando así la robustez mecánica del compuesto.

3.5.3.4. Lavado.

Se ejecutaron múltiples lavados empleando agua desionizada con el propósito de remover el excedente de calcio, alcanzando un equilibrio de potencial hidrogeniónico neutro en el líquido a una temperatura reducida de 4 grados Celsius. Esta operación tuvo como finalidad erradicar residuos de polímeros de cadena reducida que permanecían presentes. A continuación, el biopolímero procesado se sometió a una filtración a través de un papel de filtrado con porosidad diminuta, registrándose un valor de pH en estado neutro al concluir el procedimiento.

3.5.3.5. Secado.

Finalmente, las muestras reticuladas se secaron en la estufa a 40 °C durante 6 horas.

3.5.4. Granulometría del Biosorbente

Posterior a los tratamientos físico y químico del biosorbente se observó que el tamaño de las partículas aumentó debido al secado compacto de la muestra. En ese sentido se realizaron los siguientes procedimientos:

- Pretriturado: Con ayuda del mortero se trituró las muestras más duras a fin de evitar pérdidas.
- Molido: Se empleo una licuadora manual para facilitar el proceso del molido, no se utilizó el molino industrial debido a la cantidad reducida de la muestra.
- Tamizado: Se emplearon mallas calibradas según la norma A.S.T.M. números 50, 100 y 200, durante un lapso de 15 minutos, logrando segmentar la muestra en tres divisiones correspondientes a tamaños de 75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros. Por último, las fracciones obtenidas se resguardaron en envolturas herméticas para su manipulación futura.

3.5.5. Caracterización del Biosorbente

3.5.5.1. Determinación de Cenizas.

La precisión del elemento se realizó mediante el método gravimétrico, la cual está alineada a la metodología descrita en la AOAC 2.173, 2005.

Con el propósito de ejecutar el procedimiento, se ponderó un gramo exacto de la porción de análisis en un crisol previamente acondicionado mediante calentamiento a 550 °C durante varias horas. Posteriormente, tras enfriar y equilibrar su peso en la balanza, el crisol se introdujo en la mufla, manteniendo la temperatura constante a 550 °C hasta obtener residuos cenicientos de tonalidad blanquecina, desprovistos de vestigios de

carbón en estado negro. Al enfriarse el recipiente, se incorporaron unas pocas gotas de agua purificada al contenido, las cuales se eliminaron por evaporación mediante un baño térmico de maría. Acto seguido, se procedió a una nueva etapa de calcinación hasta que la masa alcanzó una constancia definitiva. Finalmente, el crisol fue enfriado en un recipiente hermético para desecar hasta igualar la temperatura circundante, siendo entonces pesado de inmediato para efectuar el cálculo pertinente respecto a la muestra analizada.

El porcentaje de cenizas en la muestra (tuna) fue determinado empleando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ (m/m)} = \frac{(m1\text{-}m2)}{m} \times 100$$

En el ámbito de:

− **%(m/m)** = proporción de residuos minerales expresada en tanto por ciento,
− **m** = cantidad ponderal de la muestra, en gr,
− $\mathbf{m_1}$ = peso del recipiente o crisol que incluye la masa definitiva de la muestra, en gr,
− $\mathbf{m_2}$ = peso del recipiente vacío, en gr.

3.5.5.2. Determinación de Dureza (Calcio y Magnesio).

La cuantificación de Calcio y Magnesio facilitó el cálculo de la dureza global mediante la titulación de las respectivas sales, utilizando una disolución estandarizada de EDTA en combinación con un regulador de pH 10 y un indicador cromático específico para dureza total, el (ENT). Dicho protocolo se ejecutó en concordancia con la reglamentación estipulada por el IDEAM para la determinación de dureza integral en aguas mediante EDTA por análisis volumétrico – TP0341-2007-Versión 02.

Las cenizas obtenidas se disolvieron completamente en 10 mL de una combinacion (1:1) de ácido clorhídrico, garantizando la disolución absoluta de los residuos. Las

disoluciones resultantes se diluyeron hasta completar un volumen definitivo de 100 mL empleando agua desionizada. Posteriormente, se extrajo una fracción de 10 mL de esta solución, la cual se ajustó hasta un vol. final de 50 mL añadiendo suficiente agua destilada. Se agregaron, además, 2 mL de una solución amortiguadora de pH 10 y 5 gotas de un precisador ENT al 0.5 %. Acto seguido, se realizó la titulación utilizando una solución de EDTA con una concentración de 0.01 M. Finalmente, la dureza total se estableció mediante análisis por duplicado.

Resultados Expresados como Dureza Total (Calcio y Magnesio):

$$\%\text{Dureza (Ca)} = \frac{G * Fd * M * \text{mili mol Ca} * 100}{\text{Cantidad muestra}}$$

En el contexto de:

− %Dureza: Proporción de Calcio y Magnesio indicada como equivalentes de Calcio.

− G: Gasto consumido en el proceso de titulación, expresado en mililitros.

− M: Masa molar del Calcio en milimoles.

− Cantidad de muestra: Designa la porción específica de muestra utilizada para el análisis de residuos minerales.

3.5.5.3. Determinación de Hierro.

Este proceso se realizó de acuerdo con la NTE INEN 1908:2013-INEN. Durante este procedimiento, los iones reaccionan con los iones, generando complejos que presentan un color rojo intenso, según la reacción que se describe a continuación:

$$Fe3+ + nSCN- \longrightarrow Fe(SCN)3+n$$

3.5.5.3.1. Curva de Calibración.

Las configuraciones de ajuste se confeccionan situando las fracciones especificadas en la parte inferior.

Tabla 14

Curva de calibración para el Hierro

Volumen Sol. Standard (mL)	Volumen Final Patrón (mL)	Concentración Sol. Patrón (mg/L)
1	100	0.5
2	100	1.0
3	100	1.5
4	100	2.0

Nota. Determinación de la concentración de hierro. Basado en la NTE INEN 1908:2013-INEN.

Se transfirieron fracciones líquidas de 1, 2, 3 y 4 mililitros de una solución estándar ferruginosa hacia recipientes de capacidad volumétrica de 100 mililitros, y se diluyeron empleando 10 mililitros de agua purificada.

En otro contenedor volumétrico de igual capacidad se depositaron 10 mililitros de agua destilada para actuar como testigo transparente. Acto seguido, a cada recipiente se añadieron sucesivamente 5 mililitros de una solución acuosa de ácido nítrico en proporción 1:1, 50 mililitros de agua destilada, 1 mililitro de peróxido de hidrógeno al 3% y 20 mililitros de tiocianato de amonio ($SCNNH_4$), asegurando la amalgamación tras cada incorporación. Finalmente, el volumen se ajustó hasta alcanzar los 100 mililitros y se verificó la obtención de una mezcla homogénea.

3.5.5.3.2. Medición de la Absorbancia de los Patrones.

Se extrajo un alícuota de cada disolución y se trasladó a un tubo de medición, donde se registró la absorbancia a 480 nm en relación con la referencia incolora, inmediatamente tras la manifestación del color. Seguidamente, se elaboró un gráfico que relaciona la absorbancia con la cantidad de miligramos de hierro contenida en cada disolución estándar.

3.5.5.3.3. Preparación de la Muestra.

Las cenizas blanquecinas obtenidas fueron solubilizadas en 10 mL de una disolución de cloruro de hidrógeno (1:1), garantizando la completa disgregación de los residuos cenicientos. Posteriormente, las soluciones uniformes se ajustaron a un volumen final de 100 mL utilizando agua destilada, y se extrajo una fracción de 10 mL de esta mezcla preparada.

3.5.5.3.4. *Procedimiento de la Muestra*.

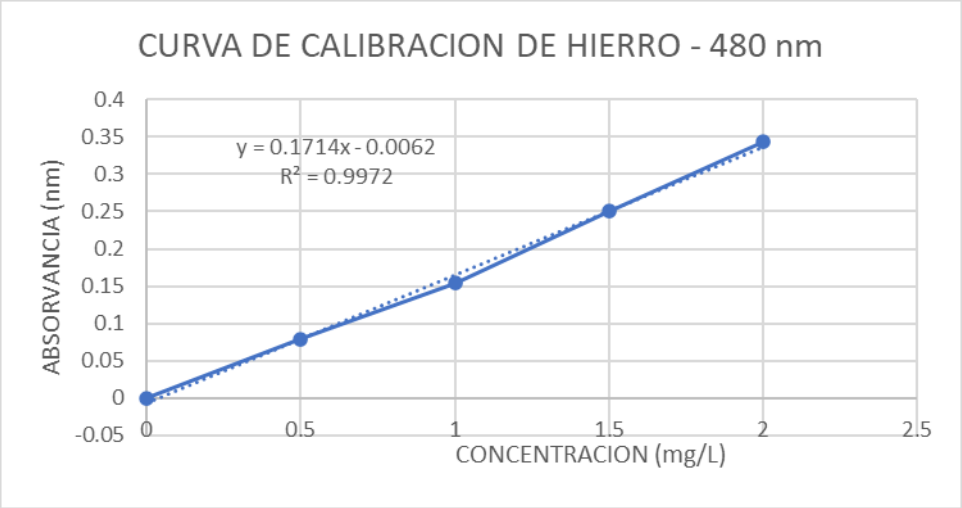
Se trasladaron 10 mL de la disolución incógnita a un recipiente volumétrico de 100 mL, al cual se adicionó una mezcla de ácido nítrico en dilución 1:1, asegurando un volumen específico de 5 mL. Posteriormente, la solución combinada se diluyó con agua desionizada hasta alcanzar un volumen intermedio de 60 mL, añadiendo en el proceso 45 mL de agua de máxima pureza. Acto seguido, se incorporó 1 mL de peróxido de hidrógeno y se agitó meticulosamente para garantizar homogeneidad. Seguidamente, se añadieron 20 mL de tiocianato amónico, completándose finalmente el volumen total con más diluyente hasta la marca de 100 mL.

Se extrajo una alícuota adecuada para determinar la absorbancia a 480 nm mediante un tubo de medición. El dato obtenido permitió consultar la gráfica de calibración, estableciendo así la cantidad de miligramos de hierro presente en la

disolución enigmática, según se detalla en la Figura 13, la cual presenta la curva de calibración correspondiente al hierro.

Figura 13

Curva de calibración del Hierro 480 nm



Nota. Con el valor obtenido se ubica en la curva de calibración.

Tabla 15

Determinación del hierro mediante la concentración y absorbancia

Concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
0	0
0.5	0.079
1	0.154
1.5	0.25
2	0.343

3.5.5.4. Determinación de Fósforo Total.

La precisión del elemento se realiza conforme a la Norma Colombiana IDEAM TP0340, que detalla el procedimiento de análisis a través de digestión ácida utilizando el método del ácido ascórbico, establecido en 2004, versión 02. Este procedimiento, basado en el protocolo AOAC No. 985.11, implica la generación de un conglomerado tintóreo

denominado fosfomolibdato. Mediante la incorporación de ácido L-ascórbico, dicho conglomerado se transfigura en molibdeno azur, cuya absorbancia se cuantifica a una frecuencia lumínica de 885 nm.

3.5.5.4.1. Preparación de Muestra.

Los residuos blanquecinos fueron solubilizados en 10 mL de una mezcla equimolar de solución de ácido clorhídrico, hasta alcanzar la completa disgregación. Posteriormente, las disoluciones uniformes se ajustaron a un volumen global de 100 mL empleando agua destilada, extrayéndose enseguida una fracción alicuotada de 25 mL de dicha preparación.

3.5.5.4.2. Curva de Calibración.

Se sometieron a desecación aproximadamente 2 gramos de fosfato de dihidrógeno potásico grado p.a. a una temperatura constante de 105°C durante un lapso de 2 horas. Posteriormente, se ponderaron con precisión 0.816 gramos de KH_2PO_4 y se diluyeron hasta alcanzar un volumen exacto de 1 litro (denominada Solución Estándar I). A partir de esta solución inicial, se elaboró una segunda preparación con una concentración exacta de 32.6230 miligramos por litro expresada como fósforo en estado de oxidación +5 (Solución Estándar II).

A continuación, se confeccionaron disoluciones de concentraciones específicas de 0.10, 0.20, 0.26, 0.33 y 0.39 miligramos por litro, empleando la Solución Estándar II como base. Para ello, se tomaron alícuotas de 0.3 mL, 0.6 mL, 0.80 mL, 1 mL y 1.2 mL, respectivamente, de la mencionada solución. Seguidamente, se extrajeron 25 mL de cada una de estas preparaciones y se les añadieron 2.5 mL de una mezcla reactiva específica. Dichas soluciones fueron agitadas cuidadosamente y dejadas en reposo durante un intervalo de 30 minutos. Finalmente, se procedió a medir la absorbancia mediante un espectrofotómetro configurado a una longitud de onda de 885 nanómetros, utilizando una

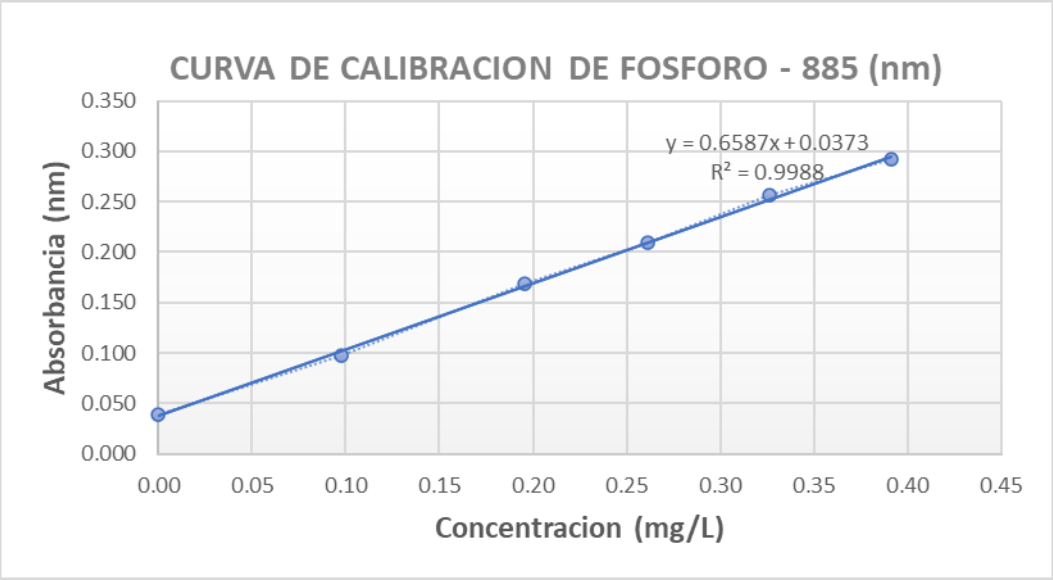
celda de 1 centímetro de recorrido óptico, determinándose el coeficiente R mediante análisis de regresión lineal.

3.5.5.4.3. Muestra.

Se preparó una mezcla de reactivos y se añadieron 2.5 mL de esta mezcla a 25 mL de la muestra, agitando la solución. Pasados treinta minutos, se estableció el coeficiente de absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 885 nanómetros, empleando un fotómetro espectral y un receptáculo con un trayecto óptico de un centímetro. Se efectuó una referencia utilizando agua depurada para ajustar la obliteración mediante la resta. La gráfica de estandarización del elemento fósforo a 885 nanómetros se ilustra en la Figura 14.

Figura 14

Curva de calibración de fósforo



Asimismo, se puede observar en la Tabla 16 la determinación del fósforo mediante a concentración y absorbancia.

Tabla 16

Determinación del fósforo mediante la concentración y absorbancia

Concentración (mg/L)	Absorbancia (nm)
0.00	0.039
0.10	0.097
0.20	0.169
0.26	0.209
0.33	0.256
0.39	0.292

3.5.5.5. Determinación de Peso equivalente y Acidez libre.

Se utilizó la técnica de Owens para determinar el peso equivalente mediante titulación y acidez libre.

Inicialmente, se sopesaron 500 miligramos de adsorbente biológico y se depositaron en una placa de reloj, la cual fue subsecuentemente trasladada a un matraz Erlenmeyer de 250 mililitros. Acto seguido, se añadieron 5 mililitros de etanol al 96% para impregnar el material biosorbente. Posteriormente, se incorporó 1 gramo de cloruro sódico de pureza analítica (P.A.), mezclándose hasta lograr su completa disolución. Más tarde, se vertieron 100 mililitros de agua desmineralizada, agitándose con cautela para impedir que el líquido se adhiriera a las paredes internas del recipiente. Se adicionaron 6 gotas de una solución de hidróxido de sodio (0.1 N) hasta que se logró observar una tonalidad azul estable por 20 segundos. Por último, esta mezcla fue conservada con el propósito de evaluar la concentración de grupos metoxilo presentes.

3.5.5.6. Determinación de Contenido de Metoxilo.

Para llevar a cabo la determinación del contenido de grupos metoxilo, se utilizó la disolución previamente empleada para calcular la masa equivalente. Se adicionaron 25 mililitros de hidróxido de sodio (0.25 N) al matraz Erlenmeyer, el cual fue sometido a agitación y luego cubierto herméticamente. Seguidamente, se dejó reposar a temperatura

ambiente durante un lapso de 30 minutos. Más tarde, se agregaron 25 mililitros de una disolución de ácido clorhídrico (0.25 N), se mezcló nuevamente y se procedió a realizar una valoración con hidróxido de sodio (0.1 N) hasta alcanzar una tonalidad azul persistente por 20 seg.

3.5.6. Biosorción

De acuerdo con Vásquez (2019), los métodos de biosorción representan procedimientos que hacen uso de materiales biológicos para remover contaminantes presentes en una disolución. Estas estrategias abarcan técnicas tales como adsorción, intercambio de iones, formación de enlaces covalentes, captura de partículas, reacciones de óxido-reducción y procesos de precipitación. La biosorción establece una interacción entre el sorbato presente en estado disuelto y el material biosorbido por la biomasa utilizada. La metodología experimental se focalizó en la evaluación cinética de la adsorción de metales pesados dentro de sistemas discontinuos, basándose en el diseño planteado por Smith et al. (2021), el cual consiste en monitorear la concentración de contaminantes a intervalos periódicos a lo largo del procedimiento. En este marco, para preparar las soluciones requeridas en la biosorción empleando la cáscara de tuna en sistemas de tipo batch, se llevó a cabo el siguiente protocolo:

3.5.6.1. Preparación del Sorbato (Metales en Solución).

Se prepararon 5.4 Lt solución de 50 ppm de As, Cd y Pb por separado, utilizando soluciones stock de concentración 1000 ppm. Para ajustar a los pH 6 y 6.5., se agrego el buffer fosfato de 0.2 M según las proporciones recomendadas por Sigma-Aldrich. Luego, se agitó la mezcla y se verificó el pH.

3.5.6.2. Preparación del Biosorbente y Sorbato en el Sistema de Batch.

Finalmente, la solución stock (metal y absorbente) se preparó adicionando el biosorbente a las soluciones metálicas respectivas (50 mg/L), para un volumen final de 100 mL por cada matraz. Cada una de las muestras fue dispuesta en un agitador orbital operando a 200 revoluciones por minuto durante un período de 24 horas, manteniéndose a temperatura ambiente. Estas condiciones experimentales se mantuvieron invariables para todos los tratamientos realizados. Tras alcanzar el estado de equilibrio, las biomasas fueron separadas de las soluciones mediante filtración, utilizando papel de filtro Whatman GF/C de 47 mm de diámetro en forma de círculo. La concentración final del metal residual fue determinada empleando un espectrofotómetro de absorción atómica. Todos los ensayos se efectuaron en triplicado (tres repeticiones), como se muestra en la Figura 15. El análisis estadístico fue llevado a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA). Además, se estimó la cantidad de ion metálico pesado adsorbido, q (mg/g), siguiendo el modelo matemático de la ecuación descrita:

$$q = \frac{v(C_i - C_f)}{m}$$

Dónde: C_i y C_f (mg/L) son el concentrado y de equilibrio en el metal, respectivamente. v (L) el vol. y m (g) es la masa de biosorbente (Abdolali et al., 2016; Al-Qahtani, 2016).

Figura 15

Esquema de los tratamientos a seguir en un sistema de batch – shaker



Nota. Fueron realizadas en los laboratorios de la UNAM.

3.5.6.3. Efecto del Tamaño de Partícula.

Para investigar la incidencia del calibre de las partículas en el fenómeno de adsorción, se empleó un material biosorbente con las siguientes dimensiones granulométricas: 300, 150 y 75 µm, bajo una concentración inicial de ion metálico de 50 mg/l.

3.5.6.4. Efecto de la Dosis de Adsorbente.

Se analizó la relación entre la captura de As (V), Pb (II) y Cd (II) y la cantidad de biosorbente aplicada, efectuando los ensayos a temperatura ambiental y en condiciones de pH óptimas, mientras se modificaban las proporciones de biosorbente utilizadas (0.5, 1.0 y 1.5 g/L).

3.5.6.5. Diseño Experimental.

El diseño empleado en la presente corresponde al diseño experimental completamente al azar DCA con un esquema 3 x 3 x 3 con 3 repeticiones haciendo un total de 81 unidades experimentales.

Factor A : Tamaño de la partícula

Niveles : 75 , 150 y 300 (µm)

Factor B : pH

Niveles : 6 y 6.5.

Factor C : Concentración biosorbente

Niveles : 0.5, 1.0 y 1.5 (g/L)

Tabla 17

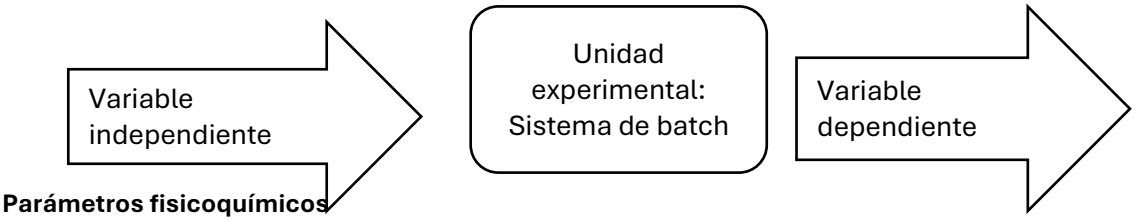
Esquema de diseño experimental

Tratamiento	Tamaño de partícula	pH	Biosorbente
T-1	75 µm	pH 6.5	5 g/L
T-2			10 g/L
T-3			15 g/L
T-4	150 µm	pH 6.5	5 g/L
T-5			10 g/L
T-6			15 g/L
T-7	300 µm	pH 6	5 g/L
T-8			10 g/L
T-9			15 g/L

Nota. Se han considerado 09 tratamientos.

3.5.6.6. Modelo Matemático.

El modelo matemático para el diseño de dos factores-tratamiento con interacción y replicación fue el siguiente:



Parámetros fisicoquímicos
Factor A: τ_i
Tamaño de la partícula
Factor B: β_j
pH

Factor C: γ_k
Concentración biosorbente

Biosorción de As(V), Pb(II) y Cd(II)

El modelo aditivo lineal para un DCA es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, 3 \ldots 10$$

Donde:

- ✓ Y_{ijk}: Se trata del indicador o aprovechamiento registrado en el i-ésimo componente A, el j-ésimo componente B, y el k-ésimo componente C.
- ✓ μ: Representa el impacto de la media global.
- ✓ α_i : Corresponde al influjo del i-ésimo grado de tamaño de la granulometría.
- ✓ β_j : Denota el influjo del j-ésimo grado de acidez
- ✓ γ_k : Alude al influjo del k-ésimo grado de densidad del adsorbente biológico.
- ✓ $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Hace referencia al efecto combinado de la interacción entre el i-ésimo componente A, el j-ésimo componente B, y el k-ésimo componente C.
- ✓ ε_{ijk}: Describe el impacto de la discrepancia experimental asociado al i-ésimo componente A, j-ésimo componente B, y k-ésimo componente C.

3.5.7. Análisis de Concentración de Metales

Las muestras obtenidas fueron remitidos al centro analítico CERPER S.A., certificado por el organismo INACAL, con la finalidad de determinar la concentración de los elementos metálicos arsénico, plomo y cadmio.

3.5.8. Determinación de Porcentaje de Biosorción de Arsénico (V), Cadmio (II) y Plomo (II)

Se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{IV.} \qquad \%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Dónde:

R: Biosorción o adsorción

Ci: concentrado de inicio

Cf: concentrado de fin

3.5.9. Análisis de Datos

Para constatar cuál de los elementos posee una conexión más significativa con la variable subordinada, en primer lugar, se expuso la inclinación o dinámica de las variables de forma aislada, es decir, analizando las características inherentes a esta.

Diseño estadístico

Paso 1: En un estadio inicial, se efectuó un análisis estadístico de carácter descriptivo empleando los datos recolectados, el cual abarcó la determinación de la media aritmética, la mediana, la moda y la desviación estándar. Los hallazgos se ilustraron mediante tablas, diagramas y histogramas generados con el software Excel. Para llevar a cabo el análisis estadístico, se recurrió a las aplicaciones Origin Pro y MINITAB V19.

Las métricas descriptivas se representaron como promedio ± desviación estándar (DE), y se estableció un umbral de significación estadística de $p < 0.05$.

Paso 2: Para el análisis del vinculo (Diseño experimental).

En este paso se procedió a validar la idoneidad del modelo matemático.

Se llevó a cabo un escrutinio de varianza (ANOVA o Prueba de Kruskal-Wallis) con el propósito de determinar la presencia o ausencia de diferencias estadísticamente relevantes entre los promedios de los conglomerados. Este procedimiento se empleó para evaluar la influencia del tamaño de las partículas (75 µm, 150 µm y 300 µm), la concentración de cáscara de tuna (0.5 g/L, 1.0 g/L y 1.5 g/L) y la interacción conjunta entre ambos factores (tamaño*concentración) en la biosorción de As (V), Cd (II) y Pb (II). Para los tratamientos que demostraron significancia estadística ($p < 0.05$), se aplicó la prueba post hoc de Tukey, con el objetivo de identificar el impacto de los niveles de cada factor, bajo un grado de fiabilidad del 95%

IV. Resultados y Discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Caracterización Fisicoquímica del Biosorbente Cáscara de Tuna

4.1.1.1. Tratamiento físico.

En la Tabla 18, se observa la pérdida en kilogramos y expresados en porcentaje para los diferentes tratamientos físicos que fue sometido la cáscara de tuna La mayor pérdida se observa en el proceso de picado, lavado y secado con 95.06 % (63.77 kg) obteniéndose 1.6 kg para la etapa experimental distribuidos en tamaño de la siguiente manera: 0.37 kg (tamaño 75 µm), 0.59 kg (tamaño 75 µm) y 0.65 kg (tamaño 300 µm).

Tabla 18

Porcentaje de pérdida por cada etapa de tratamiento

Proceso	Peso (Kg)			% Pérdida
	Inicial	Final	Pérdida	
Cáscara de tuna recolectada (captada)	106.99			
Luego de la Selección	106.99	67.09	39.90	37.29
Picado, lavado y secado	67.09	3.32	63.77	95.06*
Molino de martillos	3.32	3.05	0.27	8.02
Tamizado Inicial	3.05	1.60	1.45	47.56
- Tamaño 75 um		0.37		
- Tamaño 150 um		0.59		
- Tamaño 300 um		0.65		
Tamizado Final		1.60		

Nota estadística: * representa mayor pérdida en el proceso.

4.1.1.2. Determinación del Contenido Catiónico.

En la Tabla 19, se divisa la proporción iónica de la envergadura granulométrica (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) del revestimiento de tuna (*Opuntia ficus indica*), tanto en su estado intervenido como sin alteración. El valor más

elevado del promedio porcentual de concentración de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en ausencia de tratamiento corresponde a un 3.29 ± 0.11 %, asociado a un diámetro de 75 micrómetros; mientras que el mayor promedio porcentual de contenido de dichos elementos bajo tratamiento asciende a un 11.09 ± 0.14 %, igualmente para un tamaño de 75 micrómetros.

En la Figura 16, se evidencia que no hay divergencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) en el porcentaje de calcio y magnesio relativos al tamaño particulado en estado no intervenido. Por otro lado, respecto a las partículas tratadas, se detecta una discrepancia estadísticamente relevante ($p\leq0.05$) en los porcentajes de calcio y magnesio al comparar entre las diversos tamaños granulométricas.

Tabla 19

Contenido catiónico de la cáscara de tuna sin tratamiento y con tratamiento

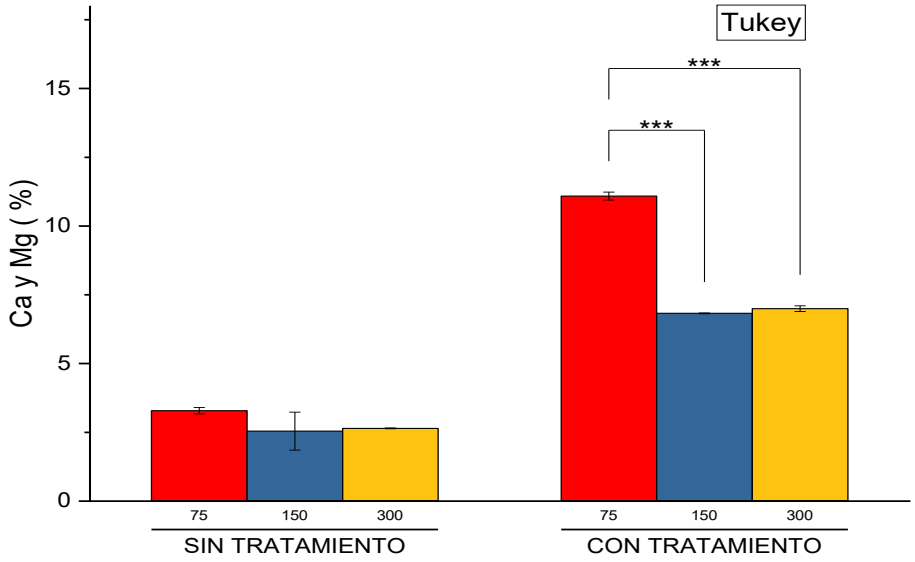
Tratamiento	Tamaño (µm)	Cenizas (%) Media ± DE	Fe (mg/L) Media ± DE	P (mg/L) Media ± DE	Ca y Mg (%) Media ± DE
Sin tratamiento	75	16.88 ± 0.00	2.70 ± 0.13	1.72 ± 0.00	3.29 ± 0.11
	150	11.75 ± 0.11	0.25 ± 0.04	1.15 ± 0.04	2.55 ± 0.69
	300	11.70 ± 0.16	0.02 ± 0.01	1.38 ± 0.04	2.65 ± 0.02
Con tratamiento	75	22.88 ± 0.02	1.45 ± 0.08	0.65 ± 0.17	11.09 ± 0.14
	150	12.28 ± 0.07	0.08 ± 0.04	0.46 ± 0.06	6.83 ± 0.01
	300	16.66 ± 0.22	0.02 ± 0.01	0.56 ± 0.04	7.00 ± 0.11

Nota estadística. Data precisada como (DE).

En la Tabla 19, se observa el contenido de P (mg/L) en (75, 150 y 300 µm) de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*) con tratamiento y sin tratamiento. El mayor promedio de concentración de P sin tratamiento es de 1.72 ± 0.00 mg/L, para un tamaño de 75 µm y el mayor promedio de concentración de P con tratamiento es de 0.65 ± 0.17 mg/L, para un tamaño de 75 µm.

Figura 16

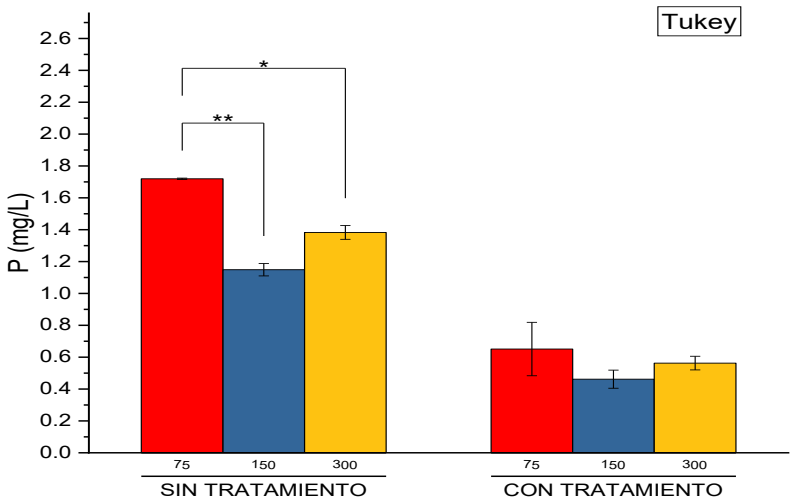
% Ca y Mg presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*



En la Figura 17, se percibe la inexistencia de variaciones estadísticamente trascendentes (p>0.05) en la proporción de fósforo (P) vinculada a las partículas sometidas a tratamiento. En contraposición, respecto a las partículas en su estado no intervenido, se constatan discrepancias significativas (p≤0.05) en la concentración de fósforo al contrastar entre las distintas dimensiones granulométricas.

Figura 17

Concentración de P (mg/L) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*

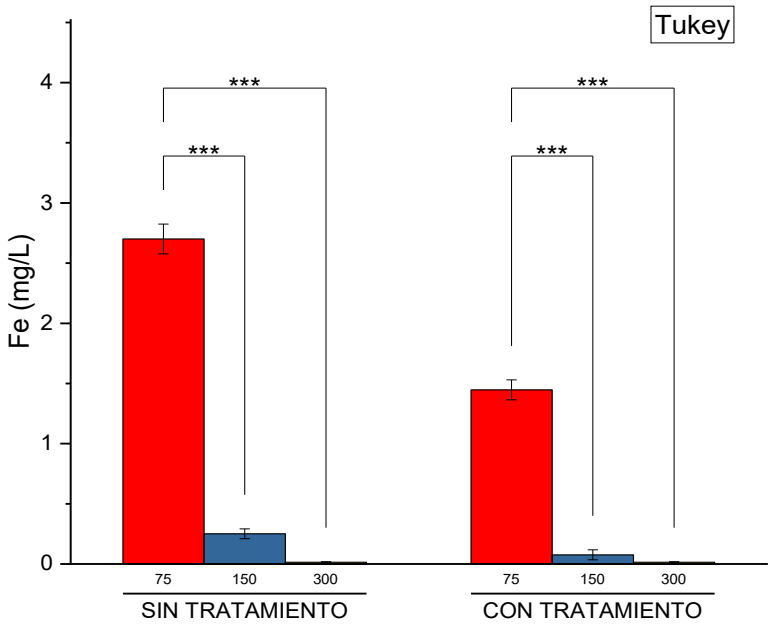


En la Tabla 19, se aprecia la cantidad de hierro (Fe) medida en miligramos por litro (mg/L) para los distintos tamaños particulados (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) correspondientes al revestimiento de la tuna tanto con intervención como sin ella. La máxima media de concentración de hierro en ausencia de tratamiento alcanza 2.70 ± 0.13 mg/L, asociada a un tamaño de 75 micrómetros, mientras que el mayor promedio bajo condiciones de tratamiento es de 1.45 ± 0.08 mg/L, también para partículas de 75 micrómetros.

En la Figura 18, se evidencia la existencia de diferencias estadísticamente relevantes (p>0.05) en los niveles de hierro del tamaño de partícula (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) bajo ambas condiciones, tratada y no tratada.

Figura 18

Concentración de Fe (mg/L) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*

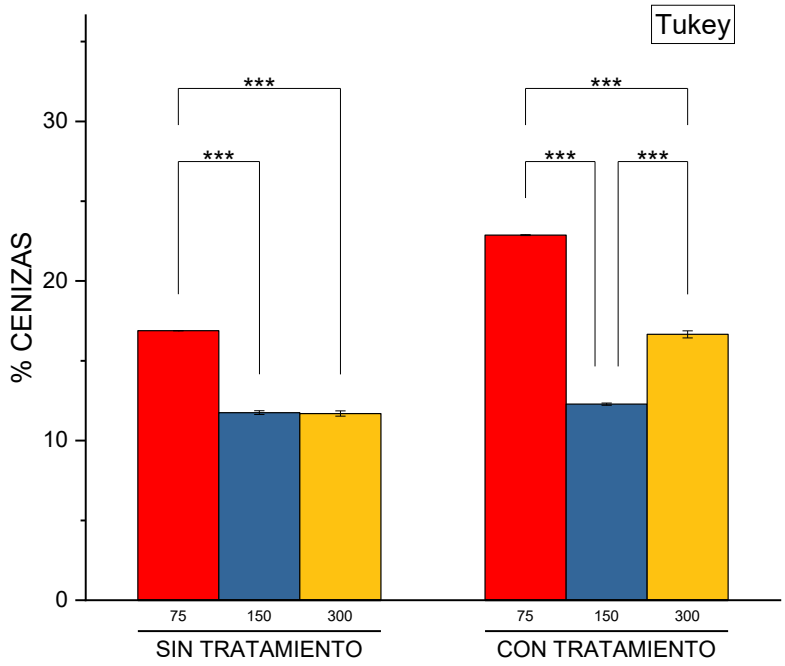


En la Tabla 19, se distingue la proporción de contenido de cenizas (%), evaluada en las distintas fracciones granulométricas (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) provenientes de la cáscara de tuna tanto en su estado modificado como en su estado natural. El mayor valor promedio de cenizas sin tratamiento corresponde a un 16.88 ± 0.00 %, asociado a un tamaño particulado de 75 micrómetros, mientras que el promedio más alto bajo tratamiento asciende a un 22.88 ± 0.02 %, también para partículas de 75 micrómetros.

En la Figura 19, se pone de manifiesto la existencia de divergencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) en el porcentaje de contenido de cenizas al comparar los diferentes tamaños de partículas (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) entre los estados tratado y no tratado.

Figura 19

% de cenizas presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*



En la Tabla 20, se registra el peso equivalente, expresado como ×103, correspondiente a los diferentes tamaños granulométricos (75 micrómetros, 150 micrómetros y 300 micrómetros) de la tuna, considerando tanto su estado intervenido como no intervenido. El promedio más elevado de peso equivalente × 10^3 sin tratamiento es de 4.47 ± 0.01, correspondiente a un tamaño particulado de 75 micrómetros, mientras que el promedio máximo bajo tratamiento alcanza los 200.00 ± 0.00, para partículas de 300 micrómetros.

En la Figura 20, se aprecia la existencia de discrepancias estadísticamente significativas (p<0.05) en el peso equivalente × 10^3 en relación con el tamaño

particulado bajo condiciones de tratamiento. En contraste, para las partículas en estado no tratado, no se detectan variaciones significativas ($p>0.05$) en el peso equivalente x 103 entre las diferentes dimensiones granulométricas..

Tabla 20

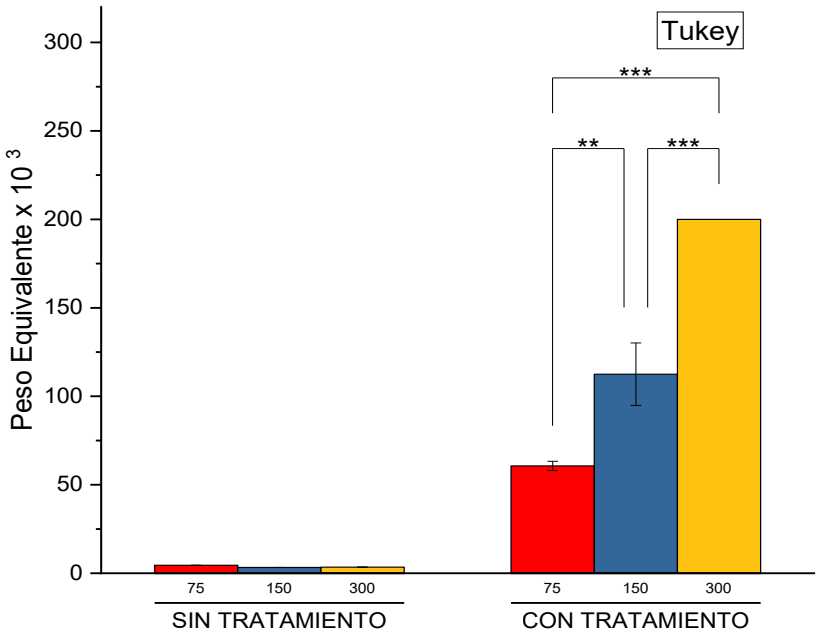
Proporción de pesaje, acidez libre y metoxilo la cáscara de tuna sin tratamiento y con tratamiento

Tratamiento	**Tamaño (µm)**	**Peso equivalente x 10^3 Media ± DE**	**Acidez libre (mEq. Carboxilos libres/g) Media ± DE**	**Metoxilo (%) Media ± DE**
Sin tratamiento	75	4.47 ± 0.01	0.22 ± 0.00	1.29 ± 0.02
	150	3.25 ± 0.01	0.31 ± 0.00	2.20 ± 0.04
	300	3.41 ± 0.01	0.29 ±0.00	2.41 ±0.02
Con tratamiento	75	60.66 ± 2.60	0.02 ± 0.00	1.76 ± 0.02
	150	112.50 ± 17.68	0.01 ± 0.00	2.47 ± 0.02
	300	200.00 ± 0.00	0.01 ± 0.00	1.64 ± 0.04

Nota. Se han considerado muestras con y sin tratamiento

Figura 20

Peso equivalente x 103 en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*



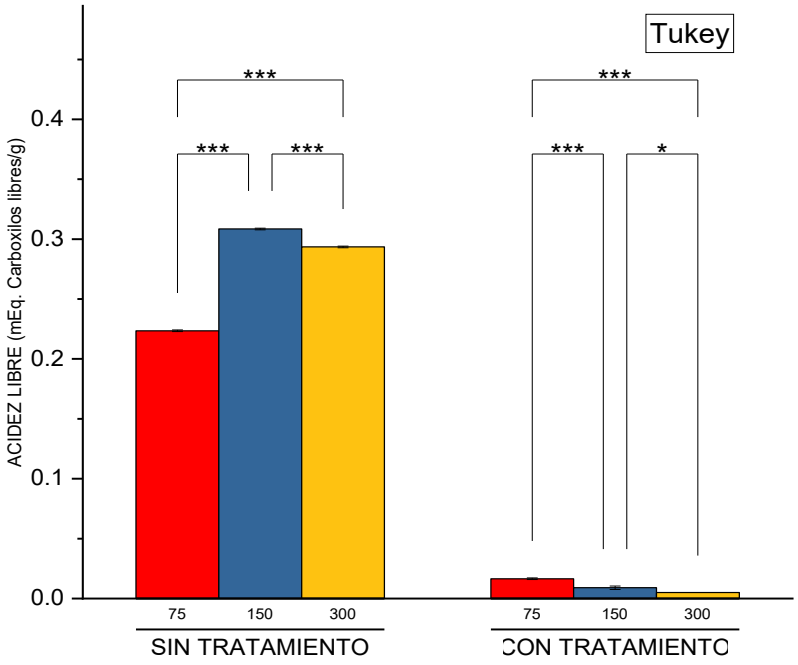
En la Tabla 20, se aprecia la cuantificación de acidez exenta (mEq. Grupos carboxílicos libres/g) en diversos calibres granulométricos (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la tuna , tanto en estado intervenido como sin intervención. El valor promedio más elevado de concentración de acidez exenta, en ausencia de tratamiento, asciende a 0.31 ± 0.00 mEq. Grupos carboxílicos libres/g, correspondiente a un calibre de 150 µm, mientras que el mayor promedio de acidez en condiciones tratadas se sitúa en 0.02 ± 0.00 mEq. Grupos carboxílicos libres/g, vinculado a un calibre de 75 µm.

En la Figura 21, se evidencia la existencia de discrepancias notables ($p<0.05$) en los niveles de acidez exenta (mEq. carboxílicos libres/g) entre los calibres

granulométricos (75 µm, 150 µm y 300 µm), comparando las condiciones de no intervención con aquellas sometidas a trato.

Figura 21

% acidez libre (mEq. Carboxilos libres/g) presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*

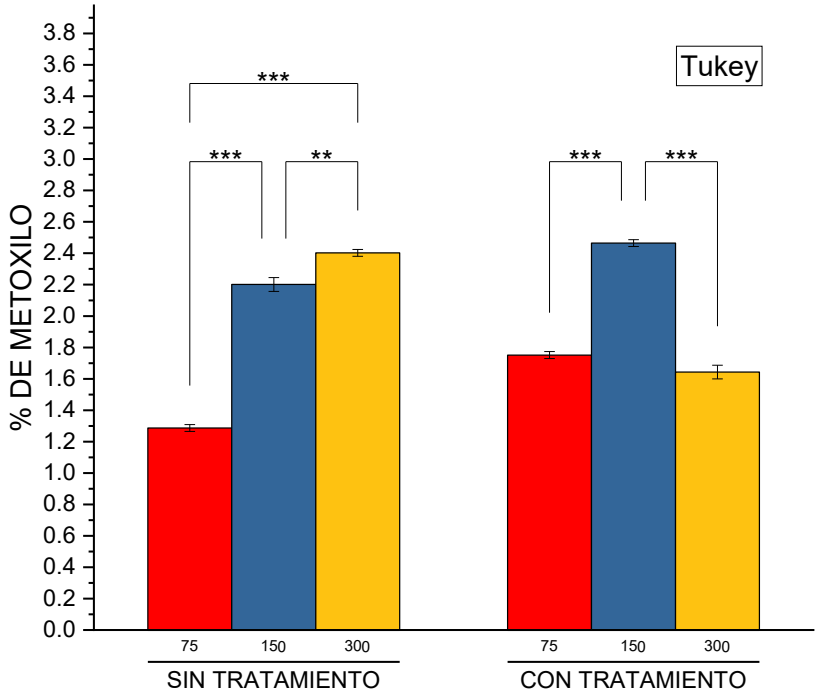


En la Tabla 20, se observa el % de metoxilo en los diferentes tamaños de partícula de la cáscara de tuna con tratamiento y sin tratamiento. El mayor promedio de % de metoxilo sin tratamiento es de 2.41 ±0.02 %, para un tamaño de 300 µm y el mayor promedio de concentración de % de metoxilo con tratamiento es 2.47 ± 0.02 %, para un tamaño de 150 µm.

En la Figura 22, se constata la presencia de discrepancias substanciales ($p<0.05$) en el porcentaje de metoxilación correspondiente a las dimensiones particuladas (75 µm, 150 µm y 300 µm), bajo condiciones de intactitud y sometimiento a procesamiento.

Figura 22

% de metoxilo presente en la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica) en relación con el tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y con el tipo de tratamiento (p<=0.05; ** p<=001, *** p<=0.001).*



4.1.2. Determinación el efecto del tamaño de la partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la cáscara de tuna en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de batch.

4.1.2.1. Determinación de Análisis de Concentración Final de Metales

Conforme a los reportes de evaluación proporcionados por el laboratorio CERPER S.A., acreditado por INACAL, la determinación cuantitativa de metales (As, Cd y Pb) se llevó

a cabo mediante Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), arrojando los siguientes hallazgos:

Tabla 21

Resultados concentración final de As (V), Cd (II) y Pb (II)

Código	Tamaño (µm)	Dosis (g/L)	Concentración Final (mg/L)		
			Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)
BT 1	75	0.5	51.80	30.30	0.92
BT 1.1	75	0.5	53.10	32.60	0.79
BT 2	75	0.5	52.45	31.45	0.86
BT 2.1	75	1.0	53.80	23.50	2.15
BT 3	75	1.0	53.00	23.50	1.23
BT 3.1	75	1.0	53.40	23.50	1.69
BT 4	75	1.5	52.10	21.60	0.77
BT 4.1	75	1.5	50.30	21.20	1.78
BT 4.2	75	1.5	51.20	21.40	1.28
BT 5	150	0.5	53.30	25.20	2.83
BT 5.1	150	0.5	50.70	22.90	2.07
BT 5.2	150	0.5	52.60	23.30	5.38
BT 6	150	1.0	53.80	21.20	2.67
BT 6.1	150	1.0	51.50	20.30	4.12
BT 6.2	150	1.0	51.90	19.80	5.26
BT 7	150	1.5	52.00	18.10	2.19
BT 7.1	150	1.5	52.50	18.10	3.75
BT 7.2	150	1.5	52.10	18.00	4.84
BT 8	300	0.5	54.60	38.60	3.42
BT 8.1	300	0.5	53.10	38.50	8.54
BT 8.2	300	0.5	44.30	37.20	8.46
BT 9	300	1.0	51.90	28.70	4.96
BT 9.1	300	1.0	50.70	28.60	7.36
BT 9.2	300	1.0	53.60	28.10	8.00

Nota. Resultados del laboratorio, obtenido por CERPER S.A.

Tabla 22

Proporción de remoción para As (V), Cd (II) y Pb (II)

Código	Tamaño (µm)	Dosis (g/L)	% de biosorción		
			Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)
BT 1	75	0.5	-3.60	39.40	99.08

BT 1.1	75	0.5	-6.20	34.80	99.21
BT 2	75	0.5	-4.90	37.10	99.14
BT 2.1	75	1.0	-7.60	53.00	97.85
BT 3	75	1.0	-6.00	53.00	98.77
BT 3.1	75	1.0	-6.80	53.00	98.31
BT 4	75	1.5	-4.20	56.80	99.23
BT 4.1	75	1.5	-0.60	57.60	98.22
BT 4.2	75	1.5	-2.40	57.20	98.73
BT 5	150	0.5	-6.60	49.60	97.17
BT 5.1	150	0.5	-1.40	54.20	97.93
BT 5.2	150	0.5	-5.20	53.40	94.62
BT 6	150	1.0	-7.60	57.60	97.33
BT 6.1	150	1.0	-3.00	59.40	95.88
BT 6.2	150	1.0	-3.80	60.40	94.74
BT 7	150	1.5	-4.00	63.80	97.81
BT 7.1	150	1.5	-5.00	63.80	96.26
BT 7.2	150	1.5	-4.20	64.00	95.16
BT 8	300	0.5	-9.20	22.80	96.58
BT 8.1	300	0.5	-6.20	23.00	91.46
BT 8.2	300	0.5	11.40	25.60	91.54
BT 9	300	1.0	-3.80	42.60	95.04
BT 9.1	300	1.0	-1.40	42.80	92.64
BT 9.2	300	1.0	-7.20	43.80	92.00

Nota. Valores en %, obtenido en CERPER S.A.

Figura 23

Porcentaje de remoción del Cd para los diferentes tamaños de partícula (75 µm, 150 µm, 300 µm) y dosis (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g) de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica).

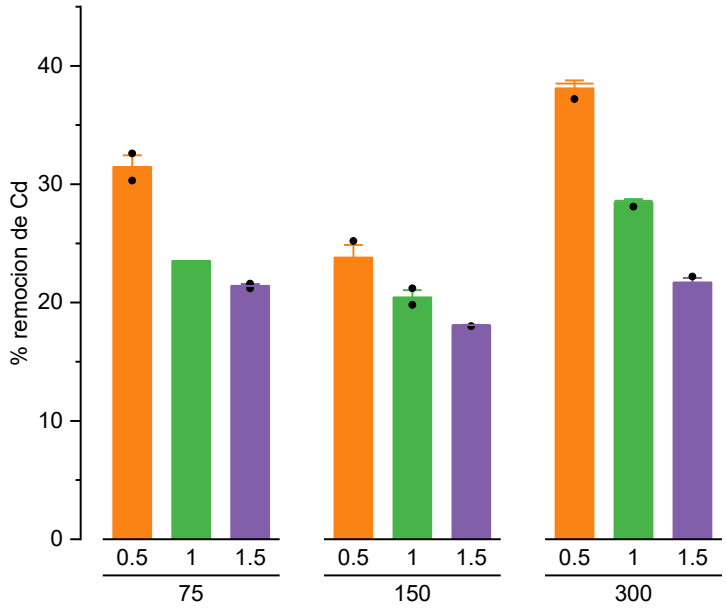
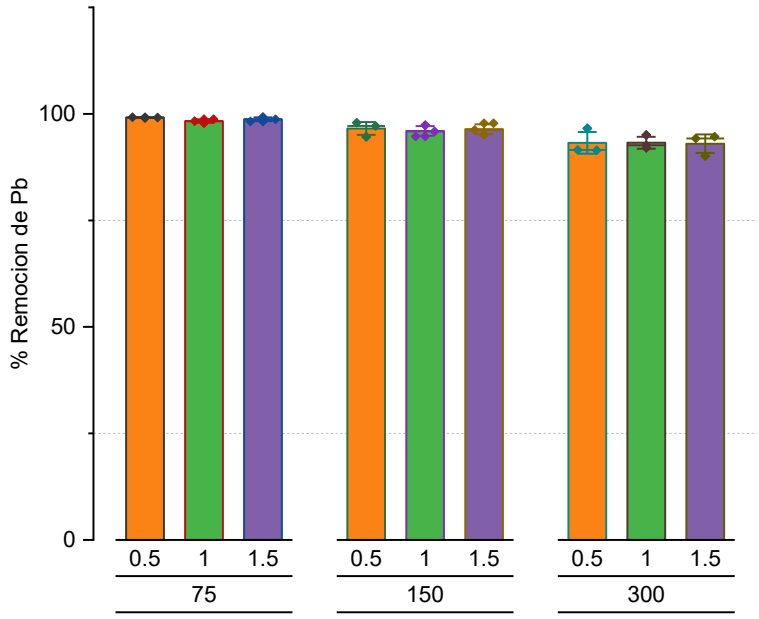


Figura 24

Porcentaje de remoción del Pb para los diferentes tamaños de partícula (75 µm, 150 µm, 300 µm) y dosis (0.5 g, 1.0 g, 1.5 g) de la cáscara de tuna (Opuntia ficus indica).



4.1.2.2. Efecto de la Interacción del Tamaño de la Partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y Concentración (0.5g/l, 1.0 g/l y 1.5 g/l) de la cáscara de Tuna en la Biosorción de Cd (II) en un Sistema de Batch.

En la Tabla 23 ANOVA, se disponen en las filas el tamaño, concentración y tamaño*concentración, los cuales representan la variabilidad atribuida a los efectos de cada uno de los factores: calibre (75 µm, 150 µm y 300 µm), dosificación (0.5 g/L, 1.0 g/L y 1.5 g/L) y la interacción entre ambos (tamaño*concentración). En esta fase primordial, se pretende abordar las siguientes interrogantes: ¿modifica de manera disímil la biosorción de Cd (II) al emplear distintas concentraciones de la cascara de tuna?, ¿incide de forma desigual la biosorción de Cd (II) al utilizar tamaños variados de la cáscara de tuna? Para dilucidar estas cuestiones, se inicia indagando si se presenta alguna distinción en la biosorción de Cd (II) en función de la combinación de los factores calibre y dosificación. A tal efecto, se establece la siguiente proposición hipotética.

H0 = No existe interacción alguna entre los niveles de tamaño*concentración de la cáscara de tuna que afecte la biosorción de Cd (II).

H1 = Se da una interacción entre los niveles de tamaño*concentración de la cáscara de tuna que condiciona la biosorción de Cd (II).

Tabla 23

ANOVA entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Cd (II)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tamaño	2	337.892	168.946	355.05	0.000
Concentración	2	533.619	266.810	560.72	0.000

Tamaño*Concentración	4	92.351	23.088	48.52	0.000*
Error	18	8.565	0.476		
Total	26	972.428			

Nota estadística. + No hay discrepancia (p>0.05); * se da discrepancia (p<0.05).

Con el fin de corroborar, se examina el valor del estadístico (F = 48.52), que confronta la hipótesis relativa a la interacción entre ambos factores (H0: (τβ) ij = 0). Este valor se localiza a la izquierda con un valor de significancia (Sig.) de 0.00, el cual es inferior al umbral de significancia 0.05. En consecuencia, la interacción entre los dos factores es significativa. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa. (p<0.05).

4.1.2.2.1. Efecto del Factor Tamaño de Partícula y Concentración de la Cáscara de Tuna en la Biosorción de Cd (II.)

La Tabla 24 exhibe el (ANOVA) en relación con las gradaciones del tamaño en cuanto a la bioremoción de Cd (II). En las filas se detallan las dimensiones y las concentraciones, reflejando la heterogeneidad atribuida a los efectos propios de cada factor. En este marco, el objetivo es explorar la influencia de las diversas escalas del tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) sobre la fijación de Cd (II) y la repercusión de las variantes de concentración (0.5 g/l, 1.0 g/l, 1.5 g/l) en dicho proceso. Para ello, se establece la siguiente hipótesis bajo un umbral de relevancia estadística del 5% (α=0.05).

H0 = No hay efecto de los niveles del tamaño de partícula de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) sobre la biosorción de Cd (II).

H0 = No hay efecto de los niveles de la concentración de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) sobre la biosorción de Cd (II).

Tabla 24

(ANOVA) entre los niveles del tamaño de partícula y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Cd (II)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tamaño	2	337.892	168.946	36.83	0.000*
Concentración	2	533.619	266.810	58.17	0.000*
Error	22	100.916	4.587		
Falta de ajuste	4	92.351	23.088	48.52	0.000
Error puro	18	8.565	0.476		
Total	26	972.428			

Nota estadística. + No hay discrepancia (p>0.05); * se da discrepancia (p<0.05).

La Tabla 24 revela únicamente dos fuentes de dispersión, las cuales se corresponden con los efectos primarios de los factores tamaño y concentración, sin tomar en cuenta su interacción. Se observó que el valor de la suma de cuadrados del error para este modelo ascendió a 100.916, cifra obtenida al agregar las sumas de cuadrados del error y la interacción del modelo previo (92.351 + 8.565 = 100.916). Al examinar los valores p, que fueron 0.00 para los contrastes principales, se dedujo que el impacto del tamaño de las partículas resulta significativo ($p < 0.05$), de igual modo que el efecto de la concentración de partículas, el cual también se reveló como relevante ($p < 0.05$). Así, se concluyó que tanto los niveles de tamaño de partícula como la concentración de la cáscara de tuna tienen una influencia destacada sobre la biosorción de Cd (II).

En la Figura 25, se presenta una comparación de promedios de la interacción entre los diversos tratamientos, evidenciando que se registran variaciones en las medias de la concentración de Cd (II) debido a los distintos niveles del tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) ($p<0.05$). Asimismo, se observa una diferencia en el tamaño de la concentración (0.5 g, 1.0 g y 1.5 g), fenómeno igualmente reflejado en la Figura 26 ($p<0.05$).

Figura 25

*Comparación de medias de los diferentes tratamientos tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y concentración (0.5g/l, 1.0g/l y 1.5g/l). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001.*

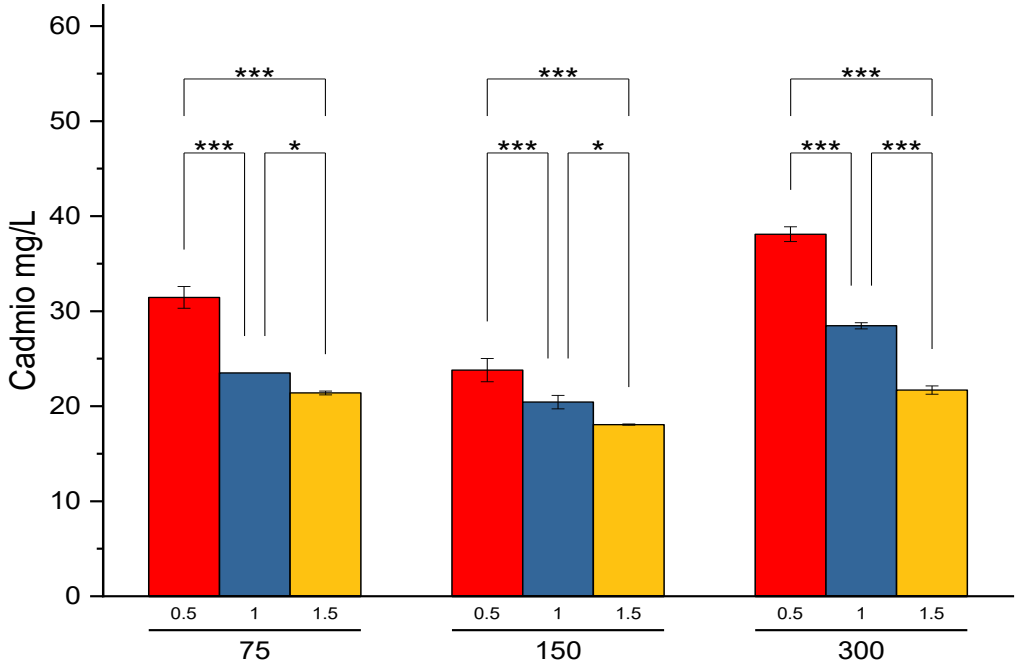
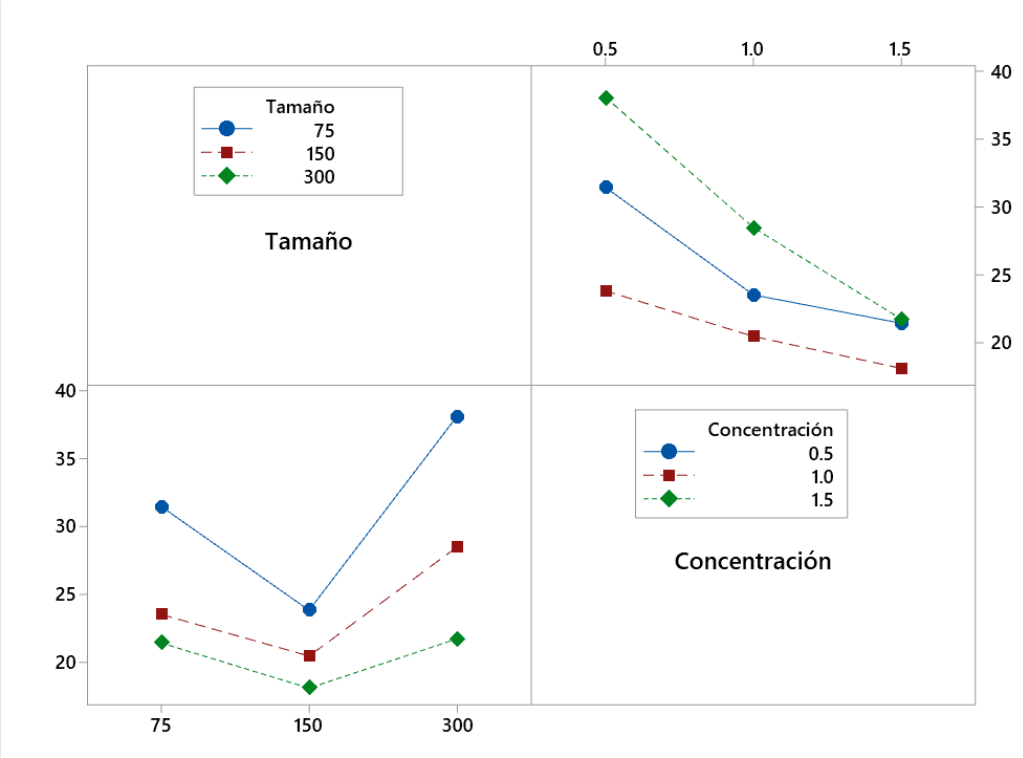


Figura 26

*Comparación de medias de los diferentes tratamientos tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y concentración (0.5g/l, 1.0g/l y 1.5g/l). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001.*



4.1.2.2.2. Comparación Múltiple del Factor de Tamaño de Partícula de la Cáscara de Tuna sobre la Biosorción de Cd (II).

Tras haber examinado los impactos predominantes de ambos elementos (Tamaño y Concentración), se percibe que el factor concentración muestra una relevancia destacada ($p<0.05$). En consecuencia, surge la interrogante: ¿Qué grado de tamaño resulta ser el óptimo en la biosorción de Cd (II)? Para abordar esta cuestión, se propone la siguiente conjetura.

H_0: $\mu_i=\mu_j$ (promedio de parejas son iguales)

H_1: $\mu_i\neq\mu_j$

Los hallazgos presentados en la Tabla 25 y la Figura 27, correspondientes a la prueba de Tukey para las medias del factor tamaños de las partículas (75 µm, 150 µm y 300 µm), indican que el rendimiento más sobresaliente en cuanto a la biosorción de Cd (II) corresponde al tamaño de 150 µm, con un intervalo de confianza del 95%

Tabla 25

IVPrueba de Tukey para medias del factor tamaño de partícula

Tamaño	N	Media	Agrupación		
300 µm	9	29.4222	A		
75 µm	9	25.4500		B	
150 µm	9	20.7667			C

Nota. Medias con elementalidad discrepante.

Los desenlaces en la Tabla 26 y la Figura 27, correspondientes a la prueba de Tukey para los promedios del parámetro "tamaño de partícula", revelan que el valor de *p* es inferior a 0.01 en las diversas correlaciones entre los rangos de tamaño de partícula y la captación de Cd (II) mediante biosorción, lo cual permite la validación de la hipótesis alternativa con una certeza estadística del 99 %

Tabla 26

Test Tukey para discrepancia de las medias

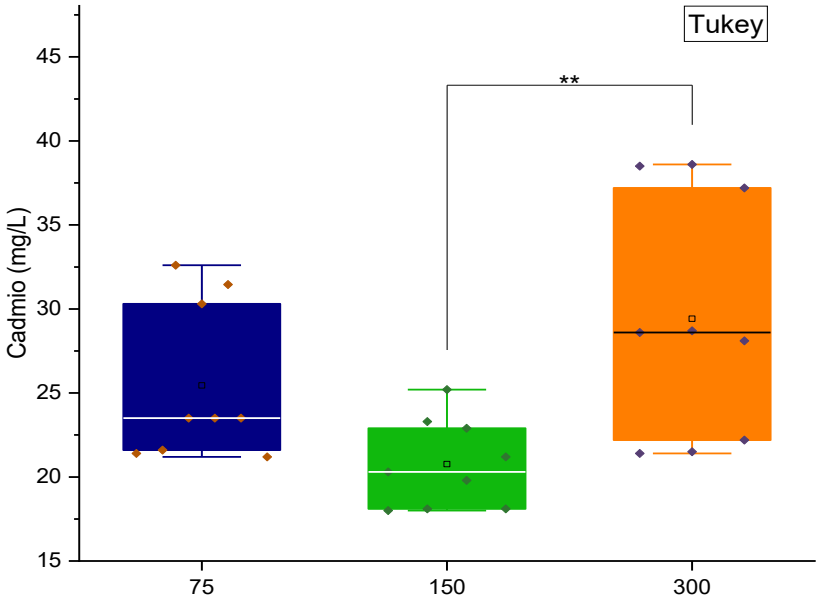
Diferencia de Tamaño niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
150 - 75	-4.68	1.01	(-7.22; -2.15)	-4.64	0.000
300 - 75	3.97	1.01	(1.44; 6.51)	3.93	0.002

300 - 150	8.66	1.01	(6.12; 11.19)	8.57	0.000

Nota estadística. Nivel de confianza individual = 99 % , * (p<=0.01).

Figura 27

*Prueba de Tukey para el factor tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001*



4.1.2.2.3. Comparación Múltiple del Factor de Concentración de la Cáscara de Tuna sobre la Biosorción de Cd (II).

Tras examinar los impactos primarios de los dos elementos (Tamaño y Concentración), se constata que el componente concentración muestra una relevancia destacada ($p<0.05$), lo cual da pie a la siguiente interrogante: ¿Qué grado de concentración resulta ser el más eficiente en la adsorción de Cd (II)?, y en consecuencia, se propone la siguiente suposición.

H_0: $\mu_i=\mu_j$ (promedio de parejas son iguales)

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$

Los desenlaces presentados en la Tabla 27, correspondientes a la evaluación de Tukey para los promedios del parámetro concentración, indican que el desempeño óptimo en cuanto a la adsorción de Cd (II) corresponde a una concentración de 1.5g/L, con una certeza estadística del 99 %.

Tabla 27

Test Turkey para concentración

Concentración	N	Media	Agrupación		
0.5 g/L	9	31.1167	A		
1.0 g/L	9	24.1333		B	
1.5 g/L	9	20.3889			C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los resultados en la Tabla 28, prueba de Tukey para medias del factor concentración se observa que el $p<0.01$ para las diferentes interacciones de los niveles de concentración en relación con la biosorción de Cd (II), por lo que aceptamos la hipótesis alterna con un nivel de confianza del 99 %.

Tabla 28

Test Tukey para diferencias de las medias

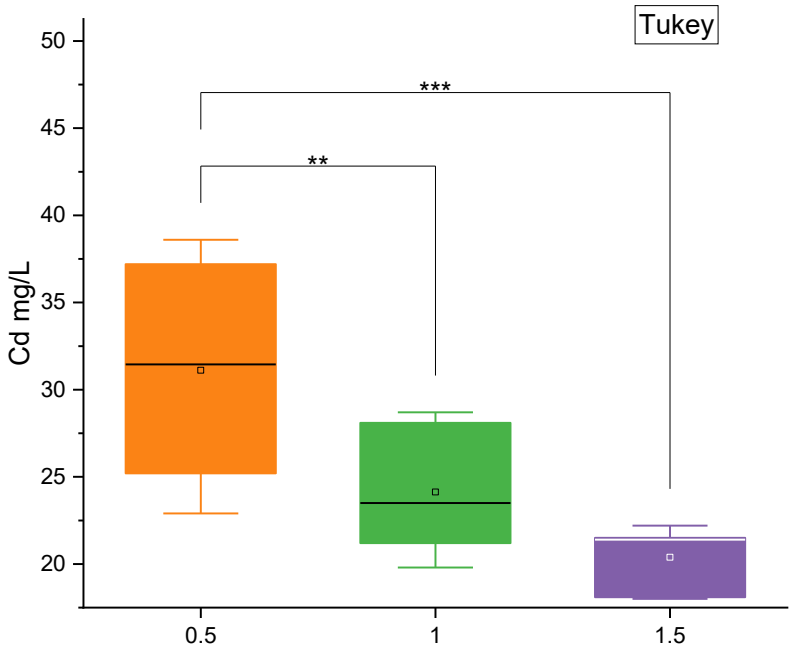
Diferencia de Concentración niveles	**Diferencia de medias**	**EE de diferencia**	**IC simultáneo de 95%**	**Valor T**	**Valor p ajustado**
1.0 - 0.5	-6.98	1.01	(-9.52; -4.45)	-6.92	0.000*

1.5 - 0.5	-10.73	1.01	(-13.26; -8.19)	-10.63	0.000*
1.5 - 1.0	-3.74	1.01	(-6.28; -1.21)	-3.71	0.003*

Nota. Nivel de confianza individual = 99 % , * (p<=0.01).

Figura 28

*Test turkey concentración (0.5g/L, 1.0g/L y 1.5g/L). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001*



4.1.2.3. Efecto de la Interacción del Tamaño de la Partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) y Concentración (0.5g/l, 1.0 g/l y 1.5 g/l) de la Cáscara de Tuna en la Biosorción de Pb (II) en un Sistema de Batch.

La Tabla 29 relativa al ANOVA revela, se muestra en las filas el tamaño, concentración y tamaño*concentración que corresponde a la variabilidad debida a los efectos de cada uno de los factores: tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm), concentración (0.5g/l, 1.0 g/l y 1.5 g/l) y de la interacción entre ambos (tamaño*concentración). En este primer estadio, se pretende solventar las siguientes disyuntivas: ¿modifica de manera disímil la biosorción de Pb (II) al emplear concentraciones diversas de la cáscara de tuna? ¿provoca una

transformación distintiva en la biosorción de Pb (II) al utilizar partículas de tamaños variables de la cáscara de tuna? Para dilucidar estas interrogantes, se inicia evaluando si se observa alguna distinción en la biosorción del Pb (II) en función de la amalgama de los factores tamaño y concentración. En este contexto, se postula la siguiente hipótesis:

H_0=No hay interacción entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna que influya la biosorción de Pb (II).

H_1= Existe interacción entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna que influya la biosorción de Pb (II).

Tabla 29

(ANOVA) entre los niveles del tamaño y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Pb (II)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tamaño	2	141.293	70.6463	26.07	0.000
Concentración	2	0.970	0.4852	0.18	0.838
Tamaño*Concentración	4	0.707	0.1767	0.07	0.991+
Error	18	48.785	2.7103		
Total	26	191.755			

Nota estadística. + No hay discrepancia (p>0.05); * se da discrepancia (p<0.05).

Para descubrir este fenómeno, escrutamos el valor del indicador estadístico (F = 0.07), el cual fue empleado para poner a prueba la hipótesis relativa a la interacción entre los dos determinantes (H0: (τβ) ij = 0). Este valor se encuentra desplazado hacia la derecha, con un nivel de significación (Sig.) de 0.00, superando el umbral de significación de 0.05. En consecuencia, se dictaminó que la interacción entre los dos determinantes

carece de relevancia estadística, lo cual nos conduce a descartar la hipótesis alternativa. ($p < 0.05$).

4.1.2.3.1. Efecto del Factor Tamaño de Partícula y Concentración de la Cáscara de Tuna en la Biosorción de Pb (II).

La Tabla 30 expone el examen de la variabilidad (ANOVA) entre los niveles del tamaño sobre la biosorción de del Plomo (II). En las líneas se muestra el tamaño y concentración correspondientes a la fluctuación atribuida a los impactos de cada uno de los elementos. En este contexto, el objetivo es analizar la influencia de los distintos niveles de tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) sobre la adsorción biológica del Plomo (II), así como el impacto de las diversas concentraciones (0.5 g/l, 1.0 g/l, 1.5 g/l) en dicho proceso. En consecuencia, se formula la siguiente conjetura bajo un nivel de relevancia del 5% (α=0.05):

H_0=No hay efecto de los niveles del tamaño de partícula de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) sobre la biosorción de Pb (II).

H_0= No hay efecto de los niveles de la concentración de la cáscara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) sobre la biosorción de Pb (II).

Tabla 30

(ANOVA) entre los niveles del tamaño de partícula y concentración de la cáscara de tuna (Opuntia ficus-indica) en la biosorción de Pb (II)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tamaño	2	141.293	70.6463	31.40	0.000*
Concentración	2	0.970	0.4852	0.22	0.808+
Error	22	49.492	2.2496		
Falta de ajuste	4	0.707	0.1767	0.07	0.991

Error puro	18	48.785	2.7103
Total	26	191.755	

Nota estadística. + No hay discrepancia (p>0.05); * se da discrepancia (p<0.05).

La *Tabla 30* exhibe exclusivamente dos fuentes de *variabilidad*: los *efectos primarios* de los factores tamaño y concentración, omitiendo la *interrelación* entre estos. Se estableció que el valor de la *Suma de Cuadrados* del *residuo* en este modelo fue de 49.492, derivado de la suma de las *Sumas de Cuadrados* del *residuo* y la *interacción* del modelo previo (48.785 + 0.707 = 49.492). Al evaluar los valores *p*, se detectó que el tamaño de partícula posee un *valor p* de 0.00, mientras que la *concentración* muestra un *valor p* de 0.808 en relación con los *contrastantes* principales. Esto sugiere que el *efecto* del *tamaño* de partícula es *trascendente* (p<0.05), en tanto que el *efecto* de la *concentración* no lo es (p>0.05). En consecuencia, se infiere que las distintas gradaciones del *tamaño* de partícula de la *cáscara de tuna* tienen un impacto sobre la *adsorción biológica* de *Pb (II)*.

En las *Figuras* 29 y 30, es posible discernir la *comparación* de las *medias* de la *interacción* entre los diversos *tratamientos*, en donde se puede percatar que no existen *discrepancias* en las *medias* de la *concentración* de *Pb (II)* debido a los niveles de tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) (p<0.05) y concentración (0.5g, 1.0 g y 1.5g) (p<0.05).

Figura 29

*Comparación de medias de los diferentes tratamientos tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y concentración (0.5g/l, 1.0g/l y 1.5g/l). *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001*

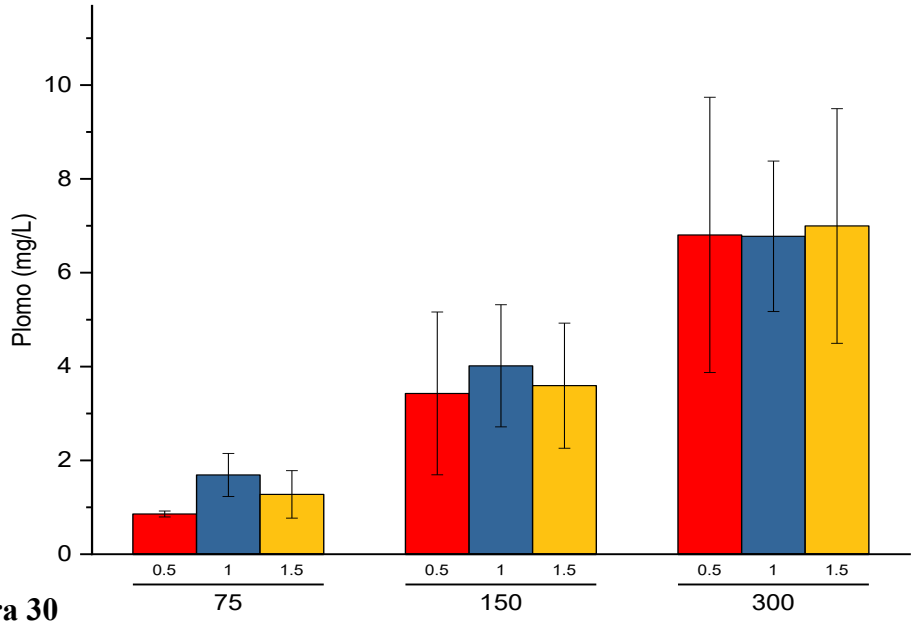
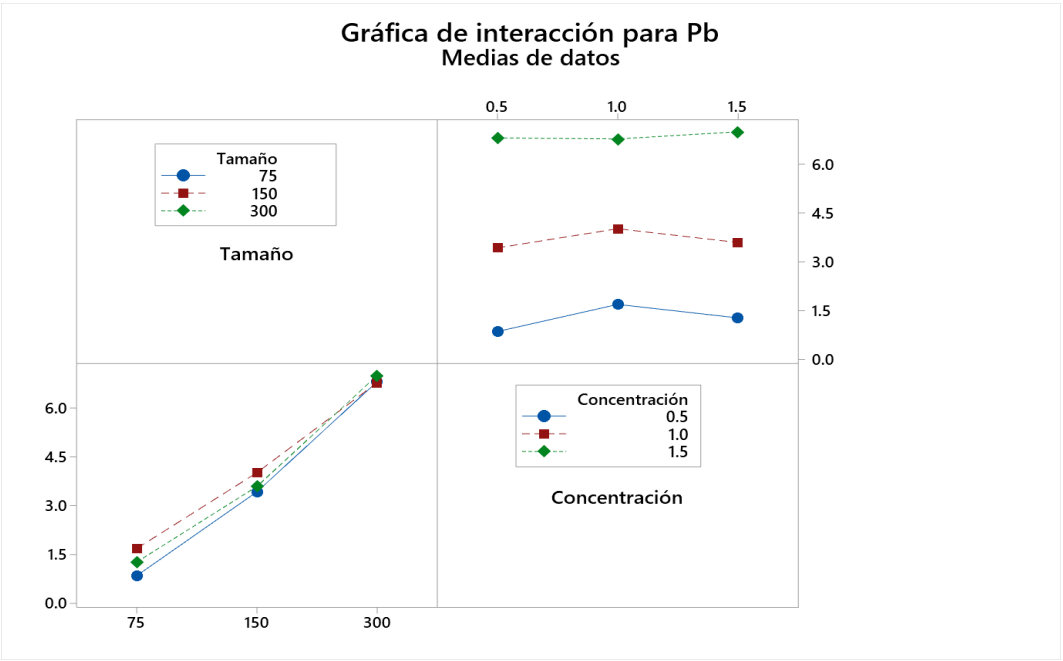


Figura 30

Gráfico de interacción para Pb (II) por efecto de los niveles del tamaño (75 µm, 150 µm y 300 µm) y de la concentración (0.5g, 1.0 g y 1.5g)



4.1.2.3.2. Comparación Múltiple del Factor de Tamaño de Partícula de la Cáscara de Tuna sobre la Biosorción de Pb (II).

Tras haber examinado los *efectos primarios* de los dos *elementos* (Tamaño y Concentración), se observa que el *factor concentración* demuestra una *gran relevancia* ($p<0.05$), lo que da lugar a la siguiente cuestión: ¿Cuál es el nivel de tamaño más eficaz en la biosorción de Pb (II)?, para ello se plantea la siguiente hipótesis.

H_0: $\mu_i=\mu_j$ (promedio de parejas son iguales)

H_1: $\mu_i\neq\mu_j$

Los *hallazgos* presentados en las *Tablas 31 y 32*, correspondientes a la *prueba de Tukey* para las *medias* del *factor tamaño de partícula* (75 µm, 150 µm y 300 µm), indican que el *rendimiento óptimo* en términos de *adsorción biológica* de *Pb (II)* corresponde al *estrato* de 75 µm, con un *nivel de certeza* del 99%

Tabla 31

IV Prueba de Tukey para medias del factor tamaño de partícula

Tamaño	N	Media	Agrupación		
300 µm	9	6.85933	A		
150 µm	9	3.67878		B	
75 µm	9	1.27383			C

Nota. Medias sin diferencia.

Los resultados en la Tabla 32 y Figura 31, prueba de Tukey para medias del factor tamaño de partícula se observa que el $p<0.01$ para las diferentes interacciones de los

niveles de tamaño de partícula en relación con la biosorción de Pb (II), por lo que aceptamos la hipótesis alterna con un nivel de confianza del 99 %.

Tabla 32

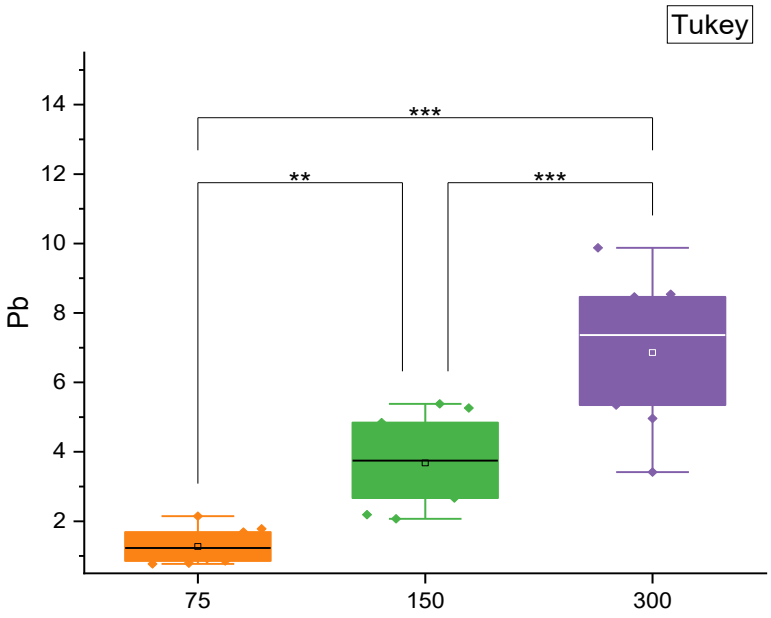
Test turkey para discrepancia de medias

Diferencia de Tamaño niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
150 - 75	2.405	0.707	(0.630; 4.180)	3.40	0.007*
300 - 75	5.585	0.707	(3.811; 7.360)	7.90	0.000*
300 - 150	3.181	0.707	(1.406; 4.955)	4.50	0.001*

Nota. Nivel de confianza individual = 99 % , * (p<=0.01)

Figura 31

*Prueba de Tukey para el factor tamaño de partícula *p<=0.05, **p<0.01 ***p<0.001*



4.2. Discusión

Los hallazgos derivados de la *tuna* para eliminar Plomo (II), Cadmio (II) y Arsénico (V) evidencian que se trata de un agente biosorbente altamente eficiente para el Plomo (II) y el Cadmio (II), mostrando un notable poder de adsorción y destacándose como una sobresaliente opción para la purificación de aguas contaminadas.

4.2.1. Caracterización Fisicoquímica del del Biosorbente Cáscara de Tuna

Para el tratamiento físico se observó la mayor pérdida en el proceso de picado, lavado y secado con 95.06 % (63.77 kg) obteniéndose 1.6 kg para la etapa experimental distribuidos en tamaño de la siguiente manera: 0.37 kg (tamaño 75 µm), 0.59 kg (tamaño 75 µm) y 0.65 kg (tamaño 300 µm). Sin embargo, (Licares, 2019) en su indagación "Capacidad de bioadsorción de la cáscara de tuna para remover los iones de plomo (II) de una solución acuosa", utilizó 1500 gramos de tuna y obtuvó 292 gramos de tuna molida, siendo un 19.46% del total con una pérdida del 80.54%. La pérdida de biomasa en este proyecto se atribuye al procedimiento: i) secado al natural, eliminación de biomasa por presencia de vectores; ii) lavado, dificultad para la manipulación de grandes cantidades de muestra; iii) molido, por la utilización de un molino industrial.

Los procesos de lavado tienen como objetivo suprimir impurezas y iones como As3+, Pb2+, Cd2+ y Na+ adheridos a la superficie del biosorbente, los cuales podrían interferir en el mecanismo de biosorción (Kumar et al., 2017). Resulta crucial evaluar la efectividad de los pretratamientos en la obtención del biosorbente, dado que esto asegura la eficacia del proceso de biosorción de los metales deseados. (Harripersadth et al., 2020; Mishra et al., 2019; Qu et al., 2018). Todos los artículos revisados (Zamora-Ledezma et al., 2021), no hacen mención y no muestran dicha eficiencia en la obtención del biosorbente, Estos se concentran primordialmente en los mecanismos de la biosorción. Las investigaciones venideras podrían orientarse hacia el aspecto económico de este

procedimiento, buscando desarrollar un examen exhaustivo y comparativo de los gastos actuales que las industrias afrontan con los adsorbentes tradicionales en contraste con el desembolso que podrían asumir al optar por los biosorbentes de bajo coste sugeridos. Tal evaluación podría incentivar de manera adicional a las industrias a realizar inversiones en el ámbito de la comercialización de los procesos de biosorción.(Agarwal et al., 2022).

En lo que respecta al contenido catiónico, se ha registrado que el promedio más alto del porcentaje de Ca y Mg sin tratamiento es de 3.29 ± 0.11 % para partículas de 75 µm. Por otro lado, el promedio más elevado del porcentaje de Ca y Mg tras el tratamiento asciende a 11.09 ± 0.14 % también para un tamaño de 75 µm. No se hallaron discrepancias sustanciales ($p>0.05$) en las proporciones de Ca y Mg para las partículas sin procesar. No obstante, en el caso de las partículas sometidas a tratamiento, se detectaron discrepancias sustanciales ($p<=0.05$) en las concentraciones de Ca y Mg entre los diversos tamaños de las partículas. De acuerdo con Quispe (2012) en su disertación titulada "Uso del mucílago extraído de la tuna en la depuración del agua del río Uchusuma", la tabla que ilustra la composición química de la penca de tuna señala que ésta posee entre 93 y 110 mg de Ca. La formación de una red tridimensional por la gelificación de las pectinas de bajo metoxilo se consigue a través de la interacción de las cadenas de pectinas disueltas en agua con los iones de calcio y azúcares, lo que facilita la retención de la fase sólida en su interior. Las condiciones ideales para la formación de dicha red incluyen un pH ácido, un contenido adecuado de azúcares y determinadas concentraciones de calcio. Una de las causas de estos cambios radica en que, durante los procesos de biosorción de metales pesados, los residuos agrícolas presentan grupos funcionales principalmente como carboxilo, amina e hidroxilo (Syeda et al., 2022). Además, los residuos agrícolas contienen diversas clases de minerales y carbono, los cuales son los responsables de activar fuerzas físicas tales como las interacciones de van der Waals, la interacción dipolo-

dipolo, la hidrofobicidad, la interacción estérica y los enlaces de hidrógeno. (Hokkanen et al., 2016). La preservación de las concentraciones de Ca y Mg (%) es crucial, ya que favorece una mayor bioadsorción. En una investigación llevada a cabo por Qu et al. (2018), los investigadores emplearon cáscaras de arroz funcionalizadas con azufre para remover cadmio del agua. Los autores señalaron que los mecanismos predominantes involucrados fueron el intercambio iónico y la quelación. Al realizar un análisis EDX en las cáscaras de arroz modificadas y no modificadas, se observó que los iones de Na (I) aumentaron de 4,33 mg/g a 20,55 mg/g, mientras que los iones de Mg (II) pasaron de 0,02 mg/g a 0,93 mg/g tras alcanzar el equilibrio en el proceso de biosorción, lo que sugiere que se produjo un intercambio iónico entre los iones de metales pesados y los iones de magnesio y sodio cargados positivamente. En otro estudio realizado por Feng & Guo (2012), se investigó la adsorción de cobre, plomo y zinc utilizando cáscaras de naranja modificadas. Los hallazgos desvelaron que el proceso de captación de metales pesados por las cáscaras de naranja alteradas se fundamenta en un trueque iónico entre los cationes de cobre, plomo, zinc y el calcio enlazado en los grupos carboxilados presentes en la red de la pectina. De manera afín, también señalaron que los mecanismos preponderantes de intercambio iónico y formación de complejos fueron los que actuaron entre los cationes Pb^{2+}, Cu^{2+} y Zn^{2+} en la pulpa de Beta vulgaris y los cationes de calcio.

Por otro lado, se observa el contenido de P (mg/L) en los tamaños de la cáscara de tuna con tratamiento y sin tratamiento. El mayor promedio de concentración de P sin tratamiento es de 1.72 ± 0.00 mg/L, Para una fracción de tamaño de 75 μm, el promedio más elevado de concentración de fósforo (P) con intervención es de 0.65 ± 0.17 mg/L. En consecuencia, no se detectan variaciones notorias ($p > 0.05$) entre las concentraciones de P en partículas modificadas de ese calibre. Por el contrario, en el caso de las partículas sin modificación, se perciben discrepancias significativas ($p \leq 0.05$) en la concentración

de P entre las diversas dimensiones de las partículas. Conforme al trabajo de Quispe (2012) titulado "Utilización del mucílago extraído de tuna en la depuración del agua del río Uchusuma", en el inventario de composición química de la tuna se señala que contiene cerca de 20 mg de fósforo. Además, se registra la existencia de 26 mg de flúor en la tuna alba, así como 39 mg de flúor en las variantes de tuna púrpura y verde.

El promedio máximo de concentración de hierro (Fe) sin intervención es de 2.70 ± 0.13 mg/L para partículas de 75 µm, mientras que el promedio más alto de concentración de Fe con intervención es de 1.45 ± 0.08 mg/L para partículas del mismo tamaño (75 µm). En consecuencia, se aprecia que existen disparidades significativas ($p > 0.05$) entre las concentraciones de Fe de las partículas de 75 µm, 150 µm y 300 µm tanto sin tratamiento como con tratamiento. Asimismo, se reporta la existencia de 26 mg de flúor en la tuna blanca y 39 mg de flúor en las tunas morada y verde.

El porcentaje más elevado de metoxilo sin tratamiento es de 2.41 ± 0.02 % para partículas de 300 µm, mientras que el mayor promedio de concentración de metoxilo con tratamiento es de 2.47 ± 0.02 % para un tamaño de 150 µm. Este hallazgo sugiere la presencia de variaciones significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de metoxilo entre las distintas fracciones de partículas (75 µm, 150 µm y 300 µm), tanto en condiciones sin intervención como con intervención. La calidad de la pectina fue evaluada mediante sus propiedades fisicoquímicas, las cuales incluyen el porcentaje de grupos metoxilo, el grado de metoxilación, el contenido de ácido anhidrogalacturónico (% AAG), la humedad, el contenido de cenizas totales, la viscosidad relativa, la viscosidad intrínseca y el peso molecular. Se sometieron a pruebas hidrogeles y xerogeles de pectina derivada de remolacha azucarera en procesos de biosorción y desorción en lotes de cadmio, plomo y cobre. Las pectinas fueron extraídas y desmetiladas con éxito a partir de la pulpa de remolacha azucarera, un residuo agrícola, y se gelificaron en presencia de cloruro de

calcio ($CaCl_2$). La estabilidad de las perlas de pectina en sus formas de hidrogel y xerogel las hizo aptas para la biosorción de metales pesados bajo diversas condiciones. Por lo tanto, en este estudio, la desmetoxilación y la incorporación de calcio han favorecido una mayor estabilidad y eficiencia en la eliminación de contaminantes As, Cd y Pb.

4.2.2. Efecto del Tamaño de la Partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la Cáscara de Tuna en la Biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un Sistema de Batch.

Se constató que la cáscara de tuna presentó un rendimiento superior en la biosorción de Plomo (II) cuando se utilizaron muestras de 75 µm con una dosis de 0.5 g/L, alcanzando una eliminación de hasta el 99.21% del metal pesado. En contraste, con las muestras de 300 µm a la misma dosis de 0.5 g/L, se obtuvo una remoción del 91.46%, siendo este el valor más bajo registrado.

En cuanto a la biosorción de Cadmio (II), la tuna mostró resultados moderados, destacándose la muestra de 150 µm con una dosis de 1.5 g/L, que logró una remoción del 64.00%. Sin embargo, con las muestras de 300 µm a una dosis de 0.5 g/L, solo se alcanzó un 23.00% de efectividad.

Por último, se observó que la tuna no obtuvo resultados satisfactorios en la biosorción de Arsénico (V), sin lograr una remoción apreciable.

V. Conclusiones

- ✓ La biosorción en sistemas de lotes exhibe un notable potencial para la depuración de aguas contaminadas con metales pesados. No obstante, se requiere de investigaciones adicionales para perfeccionar parámetros operativos, tales como el tiempo de interacción y la regeneración de los biosorbentes (Zhang et al., 2018).
- ✓ Se determinaron las características fisicoquímicas del biosorbente derivado de la cáscara de tuna. En cuanto al contenido de cationes, se halló que el porcentaje más elevado de calcio (Ca) y magnesio (Mg) con tratamiento fue de 11.09 ± 0.14 % para partículas de 75 µm. No se detectaron alteraciones relevantes ($p>0.05$) en los porcentajes de Ca y Mg entre las partículas no tratadas. Sin embargo, al examinar las partículas tratadas, se evidenciaron diferencias sustanciales ($p<=0.05$) en los niveles de Ca y Mg en función del tamaño de las partículas. Respecto al fósforo (P), la concentración máxima con tratamiento alcanzó 0.65 ± 0.17 mg/L en partículas de 75 µm. No se identificaron discrepancias significativas ($p>0.05$) en la concentración de P entre los tamaños tratados, pero en el caso de las partículas no tratadas, se hallaron diferencias notables ($p<=0.05$) según el tamaño de las partículas. Asimismo, la concentración promedio más alta de hierro (Fe) con tratamiento fue de 1.45 ± 0.08 mg/L para el tamaño de 75 µm. Se registraron variaciones significativas ($p>0.05$) en la concentración de Fe entre las partículas de distintos tamaños (75 µm, 150 µm y 300 µm), tanto con tratamiento como sin él. Por último, el porcentaje más elevado de metoxilo con tratamiento fue de 2.47 ± 0.02 % para partículas de 150 µm, lo que evidenció diferencias considerables ($p<0.05$) en el contenido de metoxilo entre los tamaños de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm), en ambos casos, tratados y no tratados.

- ✓ Se investigó el efecto del tamaño de partícula (75 µm, 150 µm y 300 µm) de la cáscara de tuna en la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de lotes. En el caso de la biosorción de Pb (II), se observaron los mejores resultados con partículas de 75 µm. Para el Cd (II), los mejores rendimientos se lograron con partículas de 150 µm. Sin embargo, en la biosorción de As (V), no se obtuvo ninguna respuesta relevante.
- ✓ Finalmente, se determinó la concentración óptima (0.5 g/L, 1.0 g/L y 1.5 g/L) de la cáscara de tuna para la biosorción de As (V), Pb (II) y Cd (II) en un sistema de lotes. Para el Pb (II), la mejor concentración fue de 0.5 g/L, mientras que para el Cd (II), se alcanzaron mejores resultados con una dosis de 1.5 g/L. Por último, para el As (V), no se observó efecto alguno.

VI. Recomendaciones

- ✓ Conducir ensayos de biosorción utilizando muestras de agua proveniente de fuentes naturales, impura por la presencia de Plomo y Cadmio, originarios de la zona de Moquegua. El objetivo es cotejar los índices de eliminación.
- ✓ Analizar la biosorción de Plomo y Cadmio con muestras de mayor tamaño y concentración, con el fin de establecer si la eficiencia de la remoción se incrementa.
- ✓ Llevar a cabo la implementación de diversas metodologías de tratamiento químico en la cáscara de tuna, con la finalidad de potenciar la captación de Arsénico (V).
- ✓ Indagar en la recuperación de los metales adsorbidos por el biosorbente. A su vez, determinar las técnicas óptimas para la disposición final de estos elementos.
- ✓ Desarrollar investigaciones adicionales con el propósito de perfeccionar los métodos de biosorción y elevar su eficacia.

VII. Referencias Bibliográficas

Acharya, J. K. (2018). *Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified agricultural waste materialas potential adsorbent.* Obtenido de Journal of Current Engineering and Technology: http://dx.doi.org/10.14741/ijcet/v.8.3.6

Ahmaruzzaman, M. &. (2011). Rice husk and its ash as low-cost adsorbents in water and wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(24), 13589-13613.

Alarcon, S. T. (2018). *Biosorción de cobre (II) y hierro (III) con cáscara de almendra del efluente de la planta concentradora victoria-yauli la oroya.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Amaringo Villa, F. A. (2013). Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. *Revista de Indagación Agraria Y Ambiental*, 4(2), 27–36.

Arias, L. (2019). *Evaluación de la capacidad de remoción de CR (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente.* Colombia: Universidad de la Salle, Bogotá.

Atefeh Abdolali, H. H.-S. (2016). A breakthrough biosorbent in removing heavy metals: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanism analyses in a lab-scale study. *Science of The Total Environment - Elservier*, 603-611.

Burg, A. K. (2007). *Agricultura Orgánica. Las sales en el suelo.* Rio Negro: Estación Experimental Agropecuria.

Cabrera, L. (2017). *bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando cáscara de tomate de árbol (solanun betaceun).* Mexico: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Calixto Dominguez, C. M., & Gaona López, B. A. (2019). *Biosorción de plomo II con cáscara de naranja (citrus cinensis) aplicado a efluentes acuosos.* Callao:

Carhuamaca, A. (2013). *Evaluación de efectos de sustitución de la harina de cáscara de tuna (Opuntia ficus) en la elaboracíon de panes.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru , Junin. .

Chao, H. (2013). Biosorción de metales pesados en cascara de citrus maxima, cascara de maracuya y bagazo de caña de azucar en una columna de lecho fijo. *Elsevier*, 7.

Chen, Y., & Wang, H. (2015). "Biosorption: Application, Methods and Performance." *Nova Science Publishers.*

Cramer, M. (2010). *Phosphate as a limiting resource: introduction*. *Plant and Soil*, 334:1-10.

D.B.HaytowitzL.E.LemarP.R.Pehrsson. (Agosto 2009). USDA's Nutrient Databank System – A tool for handling data from diverse sources. *Journal of Food Composition and Analysis*, Pages 433-441.

Davis T.A., V. B. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, 37 (18):4311-4330.

Dirección Regional de Salud Moquegua. (2019). Diagnóstico de la calidad de Agua para el Consumo Humano 2018.

Duker, A. E. (2004). Arsenic geochemistry and health. *Enviromental International 31, nº 5*, 632-637.

El-Naggar, N. E.-H. (2018). *Biosorption optimization, characterization, immobilization and application of Gelidium amansii biomass for complete Pb2+ removal from aqueous solutions*. Obtenido de Scientific Reports: https://doi.org/10.1038/s41598-018-31660-7

Gadde, R. (2020). "Biosorption of Heavy Metals: Principles and Applications in Environmental Cleanup." *Springer*

Gerencia Regional de Agricultura Moquegua. (01 de marzo de 2021). Obtenido de agromoquegua.gob.pe: https://www.agromoquegua.gob.pe/noticia_07_2022.html

Huerta, C. (2006). *Biosorcion del Cobre (II)por biomasa pretratada por cascaras de citrus sinensis (naranja), citrus limonium (limon)y opuntia ficus (palmeta de* nopal). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). "Pseudo-second-order model for sorption processes." Process Biochemistry, 34(5), 451-465.

Jiménez-Cedillo, M. O.-C. (2013). As(III) and As(V) sorption on iron-modified non-pyrolyzed and pyrolyzed biomass from Petroselinum crispum (parsley). *Journal Enviromental Manager*, 117, 242–252.

K. Vijayaraghavan, M. S. (2009). Biosorption of Lanthanum, Cerium, Europium, and Ytterbium by a Brown Marine Alga, Turbinaria Conoides. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 4405–4411.

Kumar, V. V. (2012). Preparation and characterization of porous cross linked laccase aggregates for the decolorization of triphenyl methane and reactive dyes. *Bioresource technology*, 119, 28-34.

L.G., Wade. (1993). *Química Orgánica Segunda edición.* Mexico: Prentice Hall.

Landeau, R. (2007). *Elaboración de trabajos de investigación.* Venezuela: Alfa.

Lavado, C. d. (2021). *Biosorción del plomo de aguas contaminadas usando biomasa modificada químicamente del Nostoc Commune.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Licares Eguavil, J. (2019). *Capacidad de bioadsorción de la cáscara de tuna para remover los iones de plomo (II) de una solución acuosa.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Licares Eguavil, J. (2019). *Capacidad de bioadsorción de la cáscara de tuna para remover los iones de plomo (II) de una solución acuosa.* Huancayo: Universidad dle Centro el Perú.

Lu, S. &. (2008). Copper removal from wastewater using spent-grain as biosorbent. *Bioresource Technology*, 1509-1517.

Manterola, T. O. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 227-232.

Marin-Rangel, V. C.-M.-R.-F. (2012). As(V) biosorption in an aqueous solution using chemically treated lemon (Citrus aurantifolia swingle) residues. *Journal of Food Science*, 71, 10–14.

Martin, J. L. (2010). *Fisiológis Vegetal.* España: Universidad Autónoma de Madrid.

Mendes, L. A. (2017). Larvicidal effect of essential oils from Brazilian cultivars of guava on Aedes aegypti L. *Industrial Crops and Products*, 108, 684-689.

Miranda Ramos, L. M. (2012). *"BIOSORCION DE PLOMO (II), PRESENTE EN SOLUCIONES ACUOSAS, CON CASCARA DE TUNA (Opuntia ficus - indica)".* Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin.

Nakashima, K. T.-S. (2007). Functional analysis of a NAC-type transcription factor OsNAC6 involved in abiotic and biotic stress-responsive gene expression in rice. *The Plant Journal*, 51(4), 617-630.

Ninahuanca Samaniego, H. C. (2022). *EVALUACIÓN DE LA CASCARA DE MANDARINA Citrus Reticulata Y MARACUYÁ Pasiflora Edulis COMO BIOSORBENTES PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN MUESTRAS SINTETICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2020.* Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.

Okoro, I. O. (2011). Agricultural byproducts as green chemistry absorbents for the removal and recovery of metal ions from wastewater environment. *Continental Journal of Water, Air and Soil Pollution*, 2, 15–22.

Oporto, C. A. (2008). Experimental study and modelling of Cr(VI) removal from wastewater usingLemna minor. *Water Res.*, 1458–1464.

Oyarse, S. S. (2021). *Implementación de un módulo de tratamiento de efluentes mineros que contienen metales pesados.* Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Pitcher, S. S. (2004). Heavy metal removal from motorwaystormwater using zeolite. *Sciencie Total Enviromental*, 161-166.

Quispe Yana, R., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A., & Yábar Miranda, P. (2009). Concentración de metales

pesados:cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Bolivia de Química*, ISSN 0250-5460.

Ramos, L. (2012). *Biosorción del Plomo (II), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna(Opuntia ficus - indica).* Arequipa: Universidad Nacional San Agustín.

ROMAN, P. M. (2013). .*Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* Santiago de Chile: Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Rai, P. K., & Kim, K. H. (2019). "Biosorption of heavy metals using natural adsorbents: Insights into kinetics, equilibrium, and thermodynamics." *Environmental Research*, 169, 18-30.

Sarı, A., & Tuzen, M. (2018). "Biosorption of Heavy Metals: The State of the Art." *Elsevier Science*.

Sanchez Valencia, R. (2019). "NIVELES DE METALES PESADOS (Pb, Al y Sr) EN EPOCA DE AVENIDA Y ESTIAJE EN EL RIO OSMORE, REGION MOQUEGUA". *Universidad Nacional San Agustin*, 109.

Sánchez, L., et al. (2017). "Biosorption of heavy metals using bacterial biosorbents in batch systems: Mechanisms and kinetics." Journal of Hazardous Materials, 337, 29-38.

Shao, H., et al. (2015). "Biosorption of lead and copper by a new strain of Bacillus sp. in a batch system: Equilibrium and kinetics**."** *Environmental Technology*, 36(14), 1886-1896.

Sharma, S., & Chandra, P. (2019). "Biosorption of Heavy Metals and Metalloids: A Green Technology." *Elsevier*

Singh, A., & Pant, D. (2017). "Biosorption of heavy metals: Recent trends and applications." Bioresource Technology, 225, 278-288.

Steven H. Zeisel, M.-H. M. (5 de mayo 2003). Concentrations of Choline-Containing Compounds and Betaine in Common Foods. *The Journal of Nutrition*, Pages 1302–1307.

Taha, G. A.-N. (2011). Removal efficiency of potato peels as a new biosorbent material for uptake of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) from the aqueous solutions. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 37, 128–140.

Tariq Mahmood Ansari, M. A. (2010). Immobilization of Rose Waste Biomass for Uptake of Pb(II) from Aqueous Solutions. *Biotechnology Research International*, 9.

Tejada, C., Villabona, A., & Osorio, L. (2019). *Effect of the temperature, initial concentration of contaminant and dose of adsorbent in in the removal of Nickel (II) using agroindustrial residues.* Colombia: Universidad de Cartagena.

Turan, N. M. (2011). Use of pistachio shells as an adsorbent for the removal of zinc ion. *Clean –Soil Air Water*, 39, 475–481.

Vizcano Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Editorial Neogranadina*, Vol- 25 Num.1.

Woolf, A. G. (2007). Update on the clinical management of childhood lead poisoning. *Pediatric Clinics of North America*, 54, 271-294.

Yañez, Y. H. (2018). EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE TUNA EN LA REGIÓN MOQUEGUA. Moquegua, Mariscal Nieto, Moquegua: Universidad Jose Carlos Mariategui.

Zeballos, O. E. (2019). *"COMPARACIÓN DE LOS NIVELES EN ORINA DE ARSÉNICO Y CADMIO Y SUS MANIFESTACIONES CLÍNICAS DE INTOXICACIÓN ENTRE NIÑOS DE 6 A 12 AÑOS DEL DISTRITO DE TORATA Y EL DISTRITO DE CARUMAS EN LA PROVINCIA DE MARISCAL NIETO DE LA REGIÓN MOQUEGUA.* Arequipa: UNSA.

Zhou, J., et al. (2013). "Biosorption of heavy metals by marine algae: A review of the effects of metal ions and biomass characteristics." Environmental Science and Pollution Research, 20(6), 3813-3830.

VIII. Anexos

Anexo 1 Preparación de Solución de NaOH de 0.1 N

Se consideró los siguientes parámetros:

- Volumen para preparar
- Hidróxido de Sodio P.A. con su % de pureza
- Peso Molecular del NaOH P.A.: 40 g/mol
- Calculo a aplicar:

$$NaOH\ 0.1N = \frac{Peso\ Molecular\ NaOH \times 0.1N \times Volumen\ a\ preparar\ (L) \times 100}{\%\ Pureza\ NaOH}$$

$$NaOH\ 0.1N = \frac{40\frac{g}{mol} \times 0.1N \times 1Lt \times 100\%}{99\%} = 4.0404\ g$$

Se pesó 4.0404 g de hidróxido de sodio, se llevó a una fiola de 1 L y se enrazó con agua destilada, se preparó 21 L para cada fracción, que fue almacenado en un envase de plástico para su posterior uso.

Anexo 2 Ecuación para cálculo de cenizas

$$\%\ (m/m) = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \times 100$$

Donde:

%(m/m): contenido de cenizas en porcentaje,

m: masa de la muestra, en gramos

m_1: masa de cápsula o crisol con la masa final de la muestra, en gramos.

m_2: masa de la cápsula vacía, en gramos.

Anexo 3 Ecuación para el Cálculo de Calcio y Magnesio del Biosorbente

$$\%Dureza\ (Ca) = \frac{G \times Fd \times Meq \times 100}{Cantidad\ de\ muestra}$$

Donde:

%Dureza: Cantidad de Calcio y Magnesio expresado como Calcio.

G: Gasto durante la titulación con EDTA en mL.

Fd: Factor de dilución, corresponde a dilución de muestra de cenizas 100/10 = 10

Meq: Peso Molecular del Calcio en mmol.

Cantidad de muestra: corresponde a la cantidad de empleado para análisis de cenizas (g).

Anexo 4 Galería Fotografía de la Investigación

Figura 32

Agitación de las muestras

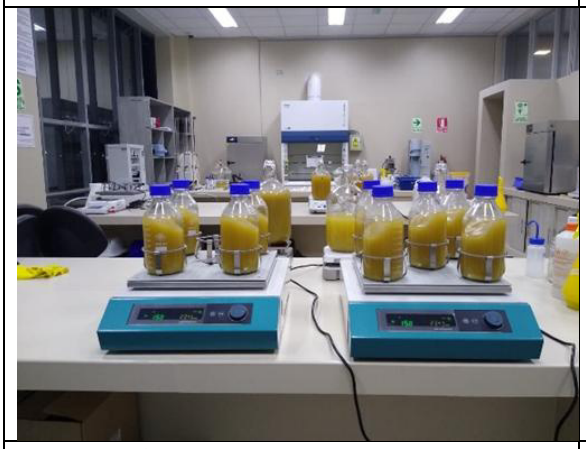


Figura 33

Soluciones de los metales pesados



Figura 34

Sales para la preparación de solución



Figura 35

Distribución de las soluciones de metales pesados

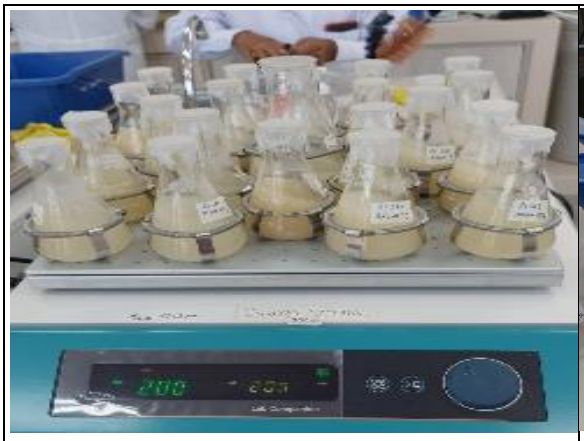


Figura 36

Agitación a 200 rpm

Figura 37

Filtración de las muestras



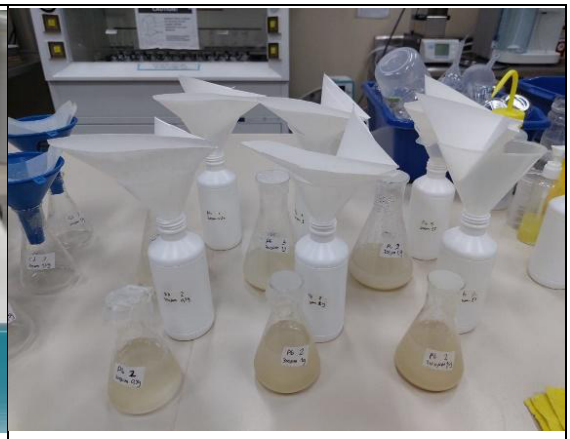


Figura 38

Para el pesado de muestras se hizo uso de la balanza digitales

Figura 39

Todas las muestras han sido trabajadas con el pH establecido





Figura 40

Forado de la solución madres

Figura 41

Todos los envases han sido rotulados





Figura 42

Preparación de las soluciones madre

Figura 43

Aplicación de soluciones de As (V) en el biosorbente



Figura 44

Secado de muestra sólida



Figura 45

Muestra envasada posterior al proceso de biosorción

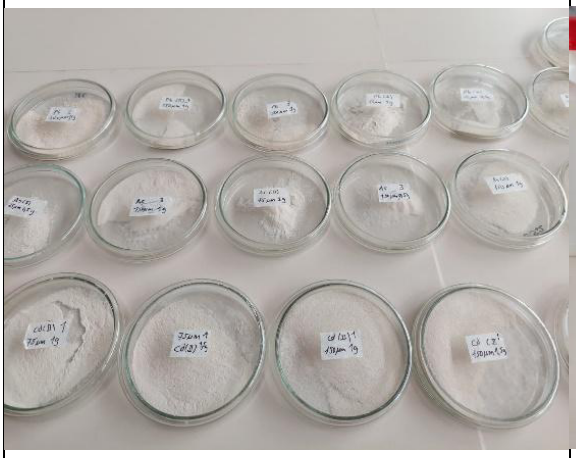


Figura 46

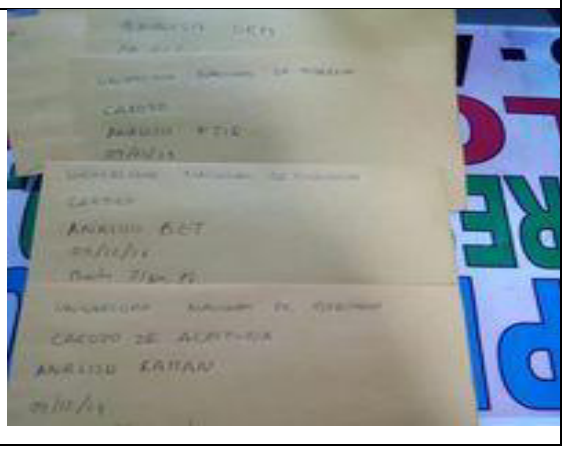
Las muestras fueron almacenadas en sobres de polietileno de para su análisis



Figura 47

Las muestras fueron enviadas en sobre a la ciudad de Lima





Anexo 5 Resultado de las concentraciones de As (V), Cd (II) y Pb (II) en el proceso de biosorción de la Cáscara de la Tuna *(Opuntia ficus - indica)*.

CERPER CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003

INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

Solicitante	:	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**
Domicilio legal	:	CAL. ANCASH 1RA CUADRA S/N - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
Producto declarado	:	**AGUA DE PROCESO**
Lugar de Muestreo	:	PARCELA NRO. 1 URB. CIUDAD JARDIN
Fecha de Muestreo	:	2022-04-22
Cantidad de Muestras para el Ensayo	:	4.0 Litros **Muestra proporcionada por el solicitante**
Forma de Presentación	:	En Frasco de Plástico Y Vidrio, Cerrado, Refrigerado Y Preservado
Identificación de la muestra	:	Según se indica
Fecha de recepción	:	2022-04-26
Fecha de inicio del ensayo	:	2022-04-26
Fecha de término del ensayo	:	2022-05-02
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	:	**HS 21009259 (EXMA-12025-2021)**
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
AI/BC	------	------	------	------
PI/BC	------	------	------	------
CI/BC	------	------	------	------
AI/BT	------	------	------	------
PI/BT	------	------	------	------
CI/BT	------	------	------	------
AF/BC	------	------	------	------
PF/BC	------	------	------	------
CF/BC	------	------	------	------
AF/BT	------	------	------	------

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez Nº 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

Proyecto:

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
1-3-1/BCC	------	------	------	------
1-3-3/BCC	------	------	------	------
1-3-4/BCC	------	------	------	------
1-3-5/BCC	------	------	------	------
1-3-6/BCC	------	------	------	------
3-3-1/BTA	------	------	------	------
3-3-3/BTA	------	------	------	------
3-3-4/BTA	------	------	------	------
3-3-5/BTA	------	------	------	------
3-3-6/BTA	------	------	------	------
3-3-1/BTP	------	------	------	------
3-3-3/BTP	------	------	------	------
3-3-4/BTP	------	------	------	------
3-3-5/BTP	------	------	------	------
3-3-6/BTP	------	------	------	------
3-3-1/BTC	------	------	------	------
3-3-3/BTC	------	------	------	------
3-3-4/BTC	------	------	------	------
3-3-5/BTC	------	------	------	------
3-3-6/BTC	------	------	------	------

LABORATORIO V°B° CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

Proyecto:

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
2-3-1/BCA	------	------	------	------
2-3-3/BCA	------	------	------	------
2-3-4/BCA	------	------	------	------
2-3-5/BCA	------	------	------	------
2-3-6/BCA	------	------	------	------
2-3-1/BCP	------	------	------	------
2-3-3/BCP	------	------	------	------
2-3-4/BCP	------	------	------	------
2-3-5/BCP	------	------	------	------
2-3-6/BCP	------	------	------	------

LABORATORIO V°B° CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	AI/BC	PI/BC	CI/BC	AI/BT
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 15:12	2022-04-22 15:14	2022-04-22 15:16	2022-04-22 15:18
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	46,6	<0,02	<0,02	50,8
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	1,15	0,008	52,5	1,28
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	50,4	<0,007	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	PI/BT	CI/BT	AF/BC	PF/BC
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 15:20	2022-04-22 15:22	2022-04-22 15:24	2022-04-22 15:26
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	0,13	0,05	10,3	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,016	50,1	0,283	0,009
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	50,7	0,159	<0,007	9,84

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	CF/BC	AF/BT	1-3-1/BCC	1-3-3/BCC
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 15:28	2022-04-22 15:30	2022-04-22 14:24	2022-04-22 14:26
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	10,8	<0,02	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	10,8	0,272	0,004	30,0
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	0,047	<0,007	<0,007

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	1-3-4/BCC	1-3-5/BCC	1-3-6/BCC	3-3-1/BTA
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:28	2022-04-22 14:30	2022-04-22 14:32	2022-04-22 14:34
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	47,5	48,4	48,6	0,013
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	0,003	<0,007	<0,007	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	3-3-3/BTA	3-3-4/BTA	3-3-5/BTA	3-3-6/BTA
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:36	2022-04-22 14:38	2022-04-22 14:40	2022-04-22 14:42
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	44,9	48,2	46,2	47,3
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	1,15	1,23	1,20	1,22
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	3-3-1/BTP	3-3-3/BTP	3-3-4/BTP	3-3-5/BTP
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:50	2022-04-22 14:52	2022-04-22 14:54	2022-04-22 14:56
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,015	0,008	0,009	0,009
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	0,156	<0,007	<0,007	<0,007

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	3-3-6/BTP	3-3-1/BTC	3-3-3/BTC	3-3-4/BTC
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:58	2022-04-22 15:00	2022-04-22 15:02	2022-04-22 15:04
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,003	0,003	0,008	0,008
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	0,006	<0,007	<0,007	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	3-3-5/BTC	3-3-6/BTC	2-3-1/BCA	2-3-3/BCA
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 15:06	2022-04-22 15:08	2022-04-22 14:00	2022-04-22 14:02
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	<0,02	22,5	43,6
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,015	0,010	0,605	1,17
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	2-3-4/BCA	2-3-5/BCA	2-3-6/BCA	2-3-1/BCP
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:04	2022-04-22 14:06	2022-04-22 14:08	2022-04-22 14:10
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	45,2	45,0	45,5	0,16
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	1,22	1,21	1,22	0,019
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	2-3-3/BCP	2-3-4/BCP	2-3-5/BCP	2-3-6/BCP
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-22 14:12	2022-04-22 14:14	2022-04-22 14:16	2022-04-22 14:18
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	<0,02	0,03	<0,02	<0,02
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,016	0,008	0,013	0,011
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	3,44	33,4	46,1	45,5

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

CONTROLES DE CALIDAD

Metales por ICP-OES

Ensayos	BM < Limite Detección	LFB	Criterio de aceptación	LFM	LFMD	RPD	Criterio de aceptación
Aluminio (Al)	0,003	91,99%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Antimonio (Sb)	0,006	95,50%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Arsénico (As)	0,02	90,17%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Azufre (S)	0,003	93,47%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Bario (Ba)	0,0003	93,49%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Berilio (Be)	0,0007	97,00%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Bismuto (Bi)	0,004	94,51%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Boro (B)	0,001	100,77%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Cadmio (Cd)	0,001	98,72%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Calcio (Ca)	0,01	95,28%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Cobalto (Co)	0,001	92,43%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Cobre (Cu)	0,002	90,58%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Cromo (Cr)	0,001	93,67%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Estaño (Sn)	0,004	96,79%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Estroncio (Sr)	0,0006	96,08%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Fosforo (P)	0,02	95,53%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Hierro (Fe)	0,003	91,80%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Galio (Ga)	0,001	96,12%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Indio (In)	0,003	102,25%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Litio (Li)	0,0004	100,77%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Magnesio (Mg)	0,001	99,45%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Manganeso (Mn)	0,0005	98,55%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Molibdeno (Mo)	0,002	102,88%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Niquel (Ni)	0,003	95,31%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Plata (Ag)	0,0004	103,51%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Plomo (Pb)	0,007	95,67%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Potasio (K)	0,04	95,43%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Selenio (Se)	0,02	95,25%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Silicio (Si)	0,002	96,09%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Sodio (Na)	0,008	96,79%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Talio (Tl)	0,006	93,62%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Titanio (Ti)	0,0001	97,05%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Vanadio (V)	0,003	94,24%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Tungsteno (W)	0,003	101,24%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Zinc (Zn)	0,001	98,18%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio.
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01353/22

MÉTODOS

Metales Disueltos ICP-OES: ISO 11885. 2007. Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 12 de mayo de 2022

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

Lic. Eddie Mendoza Mamani
C.Q.P. N° 776
JEFE DE LABORATORIO AREQUIPA

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/ mutuo de los miembros firmantes de la IAAC e ILAC"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01169/22

Solicitante	:	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**
Domicilio legal	:	CAL. ANCASH 1RA CUADRA S/N - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
Producto declarado	:	**AGUA DE PROCESO**
Lugar de Muestreo	:	PARCELA N°1 URB. CIUDAD JARDIN
Fecha de Muestreo	:	2022-04-04
Cantidad de Muestras para el Ensayo	:	900.0 Mililitros **Muestra proporcionada por el solicitante**
Forma de Presentación	:	En Frascos de Plástico, Cerrados Y Refrigerados En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado
Identificación de la muestra	:	Según se indica
Fecha de recepción	:	2022-04-06, 08
Fecha de inicio del ensayo	:	2022-04-09
Fecha de término del ensayo	:	2022-04-26
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	:	**HS 21009259 (EXMA-12025-2021)**
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
1-1-2/BT	------	------	------	------
1-2-2/BT	------	------	------	------
1-3-2/BT	------	------	------	------
2-1-2/BT	------	------	------	------
2-2-2/BT	------	------	------	------
2-3-2/BT	------	------	------	------
3-1-2/BT	------	------	------	------
3-2-2/BT	------	------	------	------
3-3-2/BT	------	------	------	------

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01169/22

Proyecto:

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
1-1-2/BC	------	------	------	------
1-2-2/BC	------	------	------	------
1-3-2/BC	------	------	------	------
2-1-2/BC	------	------	------	------
2-2-2/BC	------	------	------	------
2-3-2/BC	------	------	------	------
3-1-2/BC	------	------	------	------
3-2-2/BC	------	------	------	------
3-3-2/BC	------	------	------	------

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01169/22

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	1-1-2/BT	1-2-2/BT	1-3-2/BT	2-1-2/BT
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-04 16:00	2022-01-04 16:02	2022-04-04 16:04	2022-04-04 16:06
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	16,29	13,84	18,66	11,34
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,012	0,001	0,002	0,011
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	0,003	0,006	<0,007	0,002

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	2-2-2/BT	2-3-2/BT	3-1-2/BT	3-2-2/BT
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-04 16:08	2022-04-04 16:10	2022-04-04 16:12	2022-04-04 16:14
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	10,06	5,06	14,89	9,50
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,002	0,002	0,004	0,001
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	<0,007	0,003	<0,007

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	3-3-2/BT	1-1-2/BC	1-2-2/BC	1-3-2/BC
		Fecha y Hora de Muestreo	2022-04-04 16:16	2022-04-04 14:30	2022-04-04 14:32	2022-04-04 14:34
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	4,66	18,26	17,74	18,52
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	0,002	11,110	4,037	0,047
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	<0,007	6,686	1,076	0,003

LABORATORIO V°B° CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01169/22

RESULTADOS (Continuación)

Estación de Muestreo		2-1-2/BC	2-2-2/BC	2-3-2/BC	3-1-2/BC
Fecha y Hora de Muestreo		2022-04-04 14:36	2022-04-04 14:38	2022-04-04 14:40	2022-04-04 14:42
Tipo de Muestra		Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,02	mg/L	18,46	17,79	18,05	18,44
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	13,460	5,570	1,732	12,930
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	7,664	0,550	<0,007	8,630

RESULTADOS (Continuación)

Estación de Muestreo		3-2-2/BC	3-3-2/BC
Fecha y Hora de Muestreo		2022-04-04 14:44	2022-04-04 14:46
Tipo de Muestra		Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES				
Arsénico (As)	0,02	mg/L	17,34	18,12
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	9,626	6,242
Plomo (Pb)	0,007	mg/L	2,735	18,040

CONTROLES DE CALIDAD

Metales por ICP-OES

Ensayos	BM < Limite Detección	LFB	Criterio de aceptación	LFM	LFMD	RPD	Criterio de aceptación
Arsénico (As)	0,02	103,67%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Cadmio (Cd)	0,001	98,40%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%
Plomo (Pb)	0,007	99,49%	70-130%	N.A.	N.A.	N.A.	≤ 20%

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio.
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-01169/22

MÉTODOS

Metales Totales y Disueltos ICP-OES: ISO 11885 2007. Water quality - Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 05 de mayo de 2022

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

Lic. Eddie Mendoza Mamani
C.Q.P. N° 776
JEFE DE LABORATORIO AREQUIPA

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/ mutuo de los miembros firmantes de la IAAC e ILAC"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

Solicitante	:	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA**
Domicilio legal	:	CAL. ANCASH 1RA CUADRA S/N - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
Producto declarado	:	**AGUA DE PROCESO**
Lugar de Muestreo	:	–
Fecha de Muestreo	:	2021-11-15
Cantidad de Muestras para el Ensayo	:	9.0 Litros **Muestra proporcionada por el solicitante**
Forma de Presentación	:	En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado
Identificación de la muestra	:	Según se indica
Fecha de recepción	:	2021-11-16
Fecha de inicio del ensayo	:	2021-11-16
Fecha de término del ensayo	:	2021-11-30
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	:	**HS 21009259 (EXMA-12025-2021)**
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
BT 1	-----	-----	-----	-----
BT 1.1	-----	-----	-----	-----
BT 2	-----	-----	-----	-----
BT 2.1	-----	-----	-----	-----
BT 3	-----	-----	-----	-----
BT 3.1	-----	-----	-----	-----
BT 4	-----	-----	-----	-----
BT 4.1	-----	-----	-----	-----
BT 4.2	-----	-----	-----	-----
BT 5	-----	-----	-----	-----

LABORATORIO V°B° CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

Proyecto:				
Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
BT 5.1	----	----	----	----
BT 5.2	----	----	----	----
BT 6	----	----	----	----
BT 6.1	----	----	----	----
BT 6.2	----	----	----	----
BT 7	----	----	----	----
BT 7.1	----	----	----	----
BT 7.2	----	----	----	----
BT 8	----	----	----	----
BT 8.1	----	----	----	----
BT 8.2	----	----	----	----
BT 9	----	----	----	----
BT 9.1	----	----	----	----
BT 9.2	----	----	----	----
BC 1.0	----	----	----	----
BC 1.1	----	----	----	----
BC 1.2	----	----	----	----
BC 2.0	----	----	----	----
BC 2.1	----	----	----	----
BC 2.2	----	----	----	----
BC 3.0	----	----	----	----
BC 3.1	----	----	----	----

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

Proyecto:

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
BC 3.2	-----	-----	-----	-----
BC 4.0	-----	-----	-----	-----
BC 4.1	-----	-----	-----	-----
BC 4.2	-----	-----	-----	-----
BC 5.0	-----	-----	-----	-----
BC 5.1	-----	-----	-----	-----
BC 5.2	-----	-----	-----	-----
BC 6.0	-----	-----	-----	-----
BC 6.1	-----	-----	-----	-----
BC 6.2	-----	-----	-----	-----
BC 7.0	-----	-----	-----	-----
BC 7.1	-----	-----	-----	-----
BC 7.2	-----	-----	-----	-----
BC 8.0	-----	-----	-----	-----
BC 8.1	-----	-----	-----	-----
BC 8.2	-----	-----	-----	-----
BC 9.0	-----	-----	-----	-----
BC 9.1	-----	-----	-----	-----
BC 9.2	-----	-----	-----	-----

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo: BT 1	BT 1.1	BT 2	BT 2.1
			Fecha y Hora de Muestreo: 2021-11-15 11:07	2021-11-15 11:23	2021-11-15 11:44	2021-11-15 11:59
			Tipo de Muestra: Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	51,023	52,30	52,99	52,2
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	30,8757	33,21	23,94	23,9
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	0,920	0,794	2,147	1,232

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo: BT 3	BT 3.1	BT 4	BT 4.1
			Fecha y Hora de Muestreo: 2021-11-15 12:12	2021-11-15 12:34	2021-11-15 12:40	2021-11-15 12:45
			Tipo de Muestra: Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	51,3	49,5	52,5	49,9
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	22,0	21,6	25,6	23,3
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	0,770	1,780	2,831	2,071

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo: BT 4.2	BT 5	BT 5.1	BT 5.2
			Fecha y Hora de Muestreo: 2021-11-15 12:53	2021-11-15 12:57	2021-11-15 13:03	2021-11-15 13:10
			Tipo de Muestra: Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	51,8	53,0	50,7	51,1
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	23,7	21,6	20,6	20,1
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	5,381	2,667	4,117	5,263

LABORATORIO CERPER V°B°

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	BT 6	BT 6.1	BT 6.2	BT 7
			Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 13:15	2021-11-15 13:20	2021-11-15 13:25	2021-11-15 13:29
			Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES							
Arsénico (As)	0,006	mg/L		51,2	51,7	51,3	53,8
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L		18,4	18,4	18,3	39,3
Plomo (Pb)	0,002	mg/L		2,190	3,745	4,844	3,417

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	BT 7.1	BT 7.2	BT 8	BT 8.1
			Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 13:36	2021-11-15 13:41	2021-11-15 13:48	2021-11-15 13:54
			Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES							
Arsénico (As)	0,006	mg/L		52,3	43,6	51,1	49,9
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L		39,2	37,9	29,2	29,1
Plomo (Pb)	0,002	mg/L		8,539	8,462	4,961	7,362

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo	BT 8.2	BT 9	BT 9.1	BT 9.2
			Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 14:03	2021-11-15 14:21	2021-11-15 14:31	2021-11-15 14:41
			Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
				Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales Disueltos ICP-OES							
Arsénico (As)	0,006	mg/L		52,7	50,1	50,6	52,5
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L		28,6	21,9	21,8	22,6
Plomo (Pb)	0,002	mg/L		8,004	5,347	5,767	9,875

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	BC 1.0	BC 1.1	BC 1.2	BC 2.0
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 11:50	2021-11-15 12:15	2021-11-15 12:35	2021-11-15 12:52
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	51,7	50,1	53,5	53,5
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	48,2	48,6	47,6	47,7
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	0,414	<0,0070	0,227	1,207

		Estación de Muestreo	BC 2.1	BC 2.2	BC 3.0	BC 3.1
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 13:07	2021-11-15 13:18	2021-11-15 13:29	2021-11-15 13:38
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	52,3	53,2	52,0	49,5
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	47,1	47,3	44,9	45,0
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,0070	0,388	<0,0070	0,125

		Estación de Muestreo	BC 3.2	BC 4.0	BC 4.1	BC 4.2
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 13:46	2021-11-15 13:54	2021-11-15 14:01	2021-11-15 14:10
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	50,6	49,2	51,3	51,1
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	44,5	45,7	47,5	47,4
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,0070	0,123	<0,0070	0,373

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

RESULTADOS (Continuación)

		Estación de Muestreo	BC 5.0	BC 5.1	BC 5.2	BC 6.0
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 14:18	2021-11-15 14:25	2021-11-15 14:33	2021-11-15 14:40
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	51,6	48,9	48,2	49,4
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	46,9	47,0	45,3	43,8
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	2,231	1,003	<0,0070	0,074

		Estación de Muestreo	BC 6.1	BC 6.2	BC 7.0	BC 7.1
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 14:47	2021-11-15 14:55	2021-11-15 15:02	2021-11-15 15:10
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	52,2	52,9	49,6	51,5
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	46,7	46,0	47,0	47,9
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	<0,0070	0,161	1,090	0,299

		Estación de Muestreo	BC 7.2	BC 8.0	BC 8.1	BC 8.2
		Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 15:17	2021-11-15 15:25	2021-11-15 15:32	2021-11-15 15:39
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES						
Arsénico (As)	0,006	mg/L	50,1	52,1	49,9	52,0
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	46,8	47,5	46,5	46,9
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	1,544	0,119	0,848	0,551

LABORATORIO CERPER

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-04005/21

RESULTADOS (Continuación)

	Estación de Muestreo	BC 9.0	BC 9.1	BC 9.2
	Fecha y Hora de Muestreo	2021-11-15 15:47	2021-11-15 15:55	2021-11-15 16:04
	Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*	*Resultados*
Metales Disueltos ICP-OES					
Arsénico (As)	0,006	mg/L	49,8	50,4	49,4
Cadmio (Cd)	0,001	mg/L	44,6	46,6	44,1
Plomo (Pb)	0,002	mg/L	0,274	<0,0070	0,301

MÉTODOS

Metales Disueltos ICP-OES: ISO 11885 2007 Water quality -- Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 31 de diciembre de 2021

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.
Lic. Eddy Mendoza Mamani
C.Q.P. N° 776
JEFE DE LABORATORIO AREQUIPA

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Karla Patricia Valeriano López
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 47077881
Correo electrónico : k.valeriano.lop14@gmail.com
Teléfono/Celular : 993039538

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Efecto de los parámetros fisicoquímicos en la biosorción de As(V), Pb(II) y Cd(II) utiligando la Cáscara de la tuna Copuntia ficus-indica) como biosorbente bajo un sistema de batch.
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.00
c) Fecha de publicación : 11/11/2024

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Jose Antonio Valeriano Zapana
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 43500364
c) ORCID : 0000-0002-5571-0531

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 47077881
NOMBRES Y APELLIDOS : Karla Patricia Valeriano Lopes

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Karla Patricia Valeriano López,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Ambiental,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº 47077881, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
Efecto de los parámetros Fisicoquímicos en la biosorción de As(V), Pb(II) y Cd(II) utilizando la cáscara de la tuna (Opuntia Ficus-indica) como biosorbente bajo un sistema de batch.

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 08 de noviembre del 2024



Huella digital

Nombres y Apellidos: Karla Patricia Valeriano López
DNI: 47077881

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 47077881

NOMBRES Y APELLIDOS : Karla Patricia Valeriano López

FECHA : 08/11/2024



Karla Valentina Valeriano Lopez

REVISION FINAL TESIS

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3148908990

Fecha de entrega
7 feb 2025, 3:28 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
7 feb 2025, 3:34 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Tesis_KPVL-UNAM.pdf

Tamaño de archivo
8.2 MB

156 Páginas

28,306 Palabras

153,926 Caracteres

20% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Exclusiones

- N.º de fuente excluida
- N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

19% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA Nº 787-2024-UNAM/CO

Moquegua, 27 de noviembre de 2024

LA COMISIÓN ORGANIZADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de fecha 27 de noviembre de 2024; PROVEÍDO N° 12047-2024 de fecha 22 de noviembre de 2024 emitido por la Presidencia de la Comisión Organizadora; INFORME N° 591-2024-UNAM-CO-P/SG de fecha de recepción 21 de noviembre de 2024 emitido por la Secretaria General; CARTA Nº 189-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha de recepción 20 de noviembre de 2024 emitido por el Área de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Ambiental y demás documentos que escoltan el expediente administrativo, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, de conformidad con la Ley N° 28520 de fecha 23/05/2005, se creó la Universidad Nacional de Moquegua, cuyo artículo 1º dispone: "créase la Universidad Nacional de Moquegua como persona jurídica de derecho público interno, con sede en la ciudad de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua". Asimismo, a través de la Resolución del Consejo Directivo N° 103-2017-SUNEDU/CD, el Concejo Directivo de la SUNEDU, le otorgó la Licencia Institucional a la Universidad Nacional de Moquegua; la misma que fue modificada a través de la Resolución del Consejo Directivo N° 135-2022-SUNEDU/CD;

Que, el artículo 29° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, aprobada la ley de creación de una universidad pública, el Ministerio de Educación (MINEDU), constituye una Comisión Organizadora integrada por tres (3) académicos de reconocido prestigio, que cumplan los mismos requisitos para ser Rector (…). Esta Comisión tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley, le correspondan";

Que, mediante Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU de fecha 31/01/2024, se reconformó la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, integrada por los académicos: Dr. Jorge Lázaro Franco Medina, como Presidente; Dr. Edwin Molina Porcel, como Vicepresidente Académico y Dr. Avid Roman Gonzalez, como Vicepresidente de Investigación;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad.** En el caso de la Universidad Nacional de Moquegua, dada su condición y naturaleza, corresponde ejercer dicha atribución a la Comisión

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Organizadora quien hace las veces de Consejo Universitario, disposición relacionada con la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias;

Que, el artículo 44° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional**. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora Nº 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410, 453 y 890-2022; N° 880-2023 y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Carta Nº 189-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha 20.11.2024, el Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, el expediente de cuatro (4) bachiller de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental, quienes se encuentran aptos para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental por la modalidad de sustentación de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, razón por la cual la Secretaría General a petición de la PCO incluye los expedientes como punto de agenda para ser tratados en Sesión de Comisión Organizadora de fecha 27 de noviembre de 2024;

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:

a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comisión Organizadora N° 787-2024-UNAM/CO**

Que, se ha establecido como atribución de la Comisión Organizadora de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 27 de noviembre 2024, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, por la modalidad de la Sustentación de Tesis y Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional, a cuatro (4) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;**

Que, estando en uso de las facultades y atribuciones conferidas en el artículo 18° de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 30220, Ley Universitaria; el Documento Normativo denominado: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en proceso de Constitución", aprobado mediante la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias, y en la Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU, así como en el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y demás normas concordantes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL** por la modalidad de Sustentación de Tesis y Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional, a los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle:

1. **KARLA PATRICIA VALERIANO LOPEZ**

   TESIS : "EFECTO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN LA BIOSORCIÓN DE As (V), Pb (II) Y Cd (II) UTILIZANDO LA CÁSCARA DE TUNA (Opuntia ficus-indica) COMO BIOSORBENTE BAJO UN SISTEMA DE BATCH", cuyo Asesor fue el Dr. José Antonio Valeriano Zapana.

2. **KENNY ANDERSON CASTRO HUAYCOCHEA**

   TESIS : "EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE BIOGÁS CON PRESENCIA DE RESIDUOS DE CLORTETRACICLINA EN ESTIÉRCOL PORCINO" cuyo Asesor fue el Dr. Salomon Rey Ramos Rivera y Coasesor el Dr. Franz Zirena Vilca.

3. **LOURDES MAMANI MAMANI**

   TESIS : "RELACION DE LOS PARÁMETROS FISICO-QUIMICOS DEL AGUA RESIDUAL Y LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (METANO (CH4), OXIDO NITROSO (N2O) Y DIOXIDO DE CARBONO (CO2) DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "OMO", PROVINCIA DE MARISCAL NIETO, REGION MOQUEGUA 2020" cuyo Asesor fue el Dr. José Antonio Valeriano Zapana.

4. **LORENZO MARTIN ALVA MUÑOZ**

   TRABAJO : "MEJORA CONTINUA A TRAVÉS DEL PROGRAMA ANUAL DE GESTIÓN AMBIENTAL (TLT) TERMINAL DE LÍQUIDOS DE TRAMARSA-ILO" cuyo Asesor fue el Dr. Milko Raul Rivera Campano.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a todas las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.

DR. JORGE LAZARO FRANCO MEDINA
Presidente de la Comisión Organizadora
Universidad Nacional de Moquegua

ABOG. KEVIN YUVER CHIHUAN QUISPE
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe