



## **FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE LA CASCARA DE COCONA *Solanum sessiliflorum* Y TAMARINDO *Tamarindus indica* PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2023

**Línea de investigación:**

**Ecotoxicología y química ambiental**

Modalidad de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Collantes Flores, José Franco

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Gomez Escriba, Benigno Paulo

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

**Lima - Perú**

**2024**

# TESIS: CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE LA CASCARA DE COCONA *Solanum sessiliflorum* Y TAMARINDO *Tamarindus indica* PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO EN MUESTRAS SINTETICAS A NIVEL DE LABORATORIO, 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	16%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
6	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to ECCI Trabajo del estudiante	<1%



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y  
ECOTURISMO

CAPACIDAD DE BIOSORCIÓN DE LA CASCARA DE COCONA *Solanum  
sessiliflorum* Y TAMARINDO *Tamarindus indica* PARA LA REMOCIÓN DE  
CADMIO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO,  
2023

Línea de investigación: Ecotoxicología y química ambiental

Modalidad de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor(a):**

Collantes Flores, José Franco

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Gomez Escriba, Benigno Paulo

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara Yaquely

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima - Perú

**2024**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen .....	9
Abstract .....	10
<b>I INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1 Descripción y formulación del problema.....	12
1.1.1 Descripción del problema.....	12
1.1.2 Formulación del problema.....	14
1.2 Antecedentes .....	14
1.2.1 Antecedentes nacionales .....	14
1.2.2 Antecedentes internacionales .....	18
1.3 Objetivos .....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos .....	21
1.4 Justificación.....	22
1.5 Hipótesis.....	23
1.5.1 Hipótesis General.....	23
1.5.2 Hipótesis Específica.....	23
<b>II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	24
2.1.1 Biosorción .....	24
2.1.2 Biosorbentes .....	25
2.1.3 Parámetros que Intervienen en el Proceso de Bioadsorción.....	26

2.1.4	Mecanismos de Biosorción .....	29
2.1.5	Metales Pesados.....	30
2.1.6	Remoción de Metales Pesados .....	31
2.1.7	Tecnologías Convencionales para la Remoción de Metales Pesados .....	31
2.1.8	Procesos Fisicoquímicos .....	32
2.1.9	Cadmio .....	33
2.1.10	Efectos del Cadmio .....	34
2.1.11	Cocona ( <i>Solanum Sessiliflorum</i> ): Origen y Taxonomía.....	34
2.1.12	Tamarindo ( <i>Tamarindus Indica L</i> ): Origen y Taxonomía.....	35
2.2	Marco Conceptual.....	36
2.2.1	Definición de Términos.....	36
2.3	Marco Legal Ambiental .....	39
III	MÉTODO .....	42
3.1	Tipo de investigación.....	42
3.2	Ámbito temporal y espacial .....	42
3.3	Variables .....	43
3.3.1	Variable Independiente .....	43
3.3.2	Variable Dependiente.....	43
3.4	Población y muestra.....	45
3.4.1	Población.....	45
3.4.2	Muestra.....	45

3.5	Instrumentos .....	45
3.5.1	Técnicas.....	45
3.5.2	Instrumentos .....	45
3.5.3	Fuentes .....	46
3.6	Procedimientos .....	46
3.6.1	Preparación de Flocculantes y Muestras.....	46
3.6.2	Determinación de Cadmio.....	47
3.6.3	Análisis Final.....	47
3.7	Análisis de datos.....	48
IV	RESULTADOS .....	49
4.1	Dosis óptima de Cocona para la remoción de Cadmio.....	49
4.1.1	Tratamiento con cocona .....	49
4.2	Dosis óptima de Tamarindo para la remoción de Cadmio.....	55
4.2.1	Tratamiento con Tamarindo: .....	55
4.3	Eficiencias finales con Cocona.....	61
4.3.1	Tratamiento 1 con cocona. ....	61
4.3.2	Tratamiento 2 con cocona .....	62
4.3.3	Tratamiento 3 con cocona .....	62
4.4	Eficiencias finales con Tamarindo .....	63
4.4.1	Tratamiento 1 con tamarindo.....	63
4.4.2	Tratamiento 2 con tamarindo.....	64

4.4.3	Tratamiento 3 con tamarindo.....	64
4.5	Análisis Estadístico.....	65
4.5.1	Caracterizando la muestra en su análisis inicial .....	65
4.5.2	Análisis Estadístico Descriptivo Comparativo .....	65
4.5.3	Análisis Estadístico Inferencial .....	71
4.5.4	Contrastación de Hipótesis de Investigación.....	84
V	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	87
VI	CONCLUSIONES.....	90
VII	RECOMENDACIONES.....	92
VIII	REFERENCIAS.....	93
IX	ANEXOS .....	102
	Anexo A. Matriz de consistencia .....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación Taxonómica de la Cocona.....	35
<b>Tabla 2</b> Clasificación Taxonómica del Tamarindo.....	36
<b>Tabla 3</b> Operacionalización de variables de investigación.....	44
<b>Tabla 4</b> Resultados de Cadmio Vs Cocona: 1.0 mg Cd/l.....	50
<b>Tabla 5</b> Resultados del segundo ensayo: Cadmio Vs Cocona: 1.5 mg/l.....	52
<b>Tabla 6</b> Resultados del tercer ensayo: Cadmio Vs Cocona: 2.0 mg/l.....	54
<b>Tabla 7</b> Resultados del primer ensayo: Cadmio Vs Tamarindo: 1.0 mg/l.....	56
<b>Tabla 8</b> Resultados del segundo ensayo: Cadmio Vs Tamarindo: 1.5 mg/l.....	58
<b>Tabla 9</b> Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Cocona.....	66
<b>Tabla 10</b> Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Tamarindo.....	67
<b>Tabla 11</b> Información del factor.....	71
<b>Tabla 12</b> Análisis de Varianza.....	71
<b>Tabla 13</b> Resumen del modelo.....	72
<b>Tabla 14</b> Coeficientes.....	72
<b>Tabla 15</b> <i>Prueba de Comparación Tukey para tratamientos aplicados con floculante con cocona.</i> ....	73
<b>Tabla 16</b> Información del factor.....	74
<b>Tabla 17</b> Análisis de Varianza.....	75
<b>Tabla 18</b> Resumen del modelo.....	75
<b>Tabla 19</b> Coeficientes.....	75
<b>Tabla 20</b> <i>Prueba de Comparación Tukey para eficiencias aplicando tratamientos de floculante con cocona.</i> ....	76

<b>Tabla 21</b> Información del factor .....	77
<b>Tabla 22</b> Análisis de Varianza.....	78
<b>Tabla 23</b> Resumen del modelo.....	78
<b>Tabla 24</b> Coeficientes.....	78
<b>Tabla 25</b> Ecuación de regresión.....	79
<b>Tabla 26</b> Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes .....	79
<b>Tabla 27</b> Prueba de Comparación Tukey para tratamientos aplicados con floculante con tamarindo.....	79
<b>Tabla 28</b> Información del factor .....	81
<b>Tabla 29</b> Análisis de Varianza .....	81
<b>Tabla 30</b> Resumen del modelo.....	81
<b>Tabla 31</b> Coeficientes.....	82
<b>Tabla 32</b> Prueba de Comparación Tukey para eficiencias aplicando tratamientos de floculante con tamarindo .....	82
<b>Tabla 33</b> Análisis comparativo de aplicación de tratamientos con Cocona vs Tamarindo ...	84
<b>Tabla 34</b> Contrastación de Hipótesis.....	85
<b>Tabla 35</b> Análisis comparativo de aplicación de tratamientos con Cocona vs Tamarindo....	86
<b>Tabla 36</b> Matriz de consistencia .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Capacidad de biosorción (mmol/g) de diferentes tipos de biomasas. ....	26
<b>Figura 2</b> Comportamiento de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 1.0 mg Cd/l .....	50
<b>Figura 3</b> Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 1.5 mg/l .....	52
<b>Figura 4</b> Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 2.0 mg/l .....	54
<b>Figura 5</b> Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Tamarindo: 1.0 mg/l .....	56
<b>Figura 6</b> Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Tamarindo: 1.5 mg/l .....	58
<b>Figura 7</b> Ecuación de regresión .....	72
<b>Figura 8</b> Ecuación de regresión .....	76
<b>Figura 9</b> Ecuación de regresión .....	82

## Resumen

El objetivo planteado para la presente investigación es evaluar la capacidad de biosorción de la cascara de *Cocona solanum sessiliflorum* y Tamarindo *tamarindus indica* para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio. Los floculantes naturales son capaces de remover metales pesados de un efluente industrial, sin dejar efecto residual por su capacidad de biodegradación que posee. La metodología aplicada se realizó mediante un ensayo experimental desarrollado en base a unas pruebas conocidas como Jar Test o prueba de Jarras, donde se añaden diversas dosis de floculantes a diferentes concentraciones de Cadmio con la finalidad de alcanzar la mayor remoción de Cadmio de las muestras en estudio. Los resultados finales obtenidos por los biosorbentes de Cocona y Tamarindo muestran dosis óptimas para concentraciones de 1.0, 1.5 y 2.0 mg/l de Cadmio, entre 2.5 y 3.0 g, mientras que sus eficiencias varían entre 97.8 y 97.2%, con lo cual se concluye que ambos biosorbentes presentan una capacidad elevada en la remoción de metales pesados para concentraciones entre 1.0 y 2.0 mg/l de Cadmio. De acuerdo a las conclusiones obtenidas, se recomienda desarrollar más pruebas experimentales con otros floculantes naturales, a fin de evaluar su capacidad de biosorción y remoción de metales pesados en general.

*Palabras claves:* Bioadsorbente, Floculante Natural, Cadmio, Prueba de Jarras.

### **Abstract**

The objective set for this research is to evaluate the biosorption capacity of the shell of *Cocona solanum sessiliflorum* and *Tamarindo tamarindus indica* for the removal of Cadmium in synthetic samples at the laboratory level, under this purpose, the research question is the following: How What will be the biosorption capacity of the shell of *Cocona solanum sessiliflorum* and *Tamarindo tamarindus indica* for the removal of cadmium in synthetic samples at the laboratory level?, In this context, a biosorbent is a natural flocculant capable of removing heavy metals from an industrial effluent, without leaving a residual effect due to its biodegradation capacity. In this sense, the research question is answered based on an experimental test developed through tests known as Jar Test or Jar test, where various doses of flocculants are added at different concentrations of Cadmium to achieve the highest removal of Cadmium from study samples. The results obtained by the *Cocona* and *Tamarindo* biosorbents show optimal doses for concentrations of 1.0, 1.5 and 2.0 mg / l of Cadmium, between 2.5 and 3.0 g, while their efficiencies vary between 97.8 and 97.2%, which concludes that both biosorbents have a high capacity to remove heavy metals for concentrations between 1.0 and 2.0 mg / l of Cadmium. According to the conclusions obtained, it is recommended to develop more experimental tests with other natural flocculants, to evaluate their capacity for biosorption and removal of heavy metals in general.

*Keywords:* Biosorbent, Natural Flocculant, Cadmium, Jar Test.

## I INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la problemática de contaminación por metales pesados ha ido tomando mayor relevancia por parte de los organismos estatales en el Perú y de agrupaciones sociales debido a las consecuencias que este problema ha representado para la salud de la población, dentro de estas se encuentran alarmantes datos tales como que existen ciudades en las cuales el 100% de la los ciudadanos ingieren metales pesados mediante el agua y que, dentro del territorio, el 31% de los peruanos se encuentra en riesgo por ingerir elementos tóxicos, como metales pesados, por medio del agua contaminada por actividades tales como la minería y las aguas residuales (Redacción Ambiente, 2022).

De igual manera, este problema se ha reportado con tal gravedad que el ministro del Ambiente se reunió en diciembre del año pasado con representantes de 14 provincias; especialmente zonas como Espinar (Cusco), Cerro de Pasco (Pasco), Cuninico (Loreto), La oroya (Junín) y la cuenca del Coata (Puno), todas ellas afectadas por los metales pesados para poder articular, mejorar y brindar seguimiento a las acciones de las entidades reguladoras encargadas de mejorar las condiciones ambientales en estos territorios (MINAM, 2022).

Siguiendo esta línea, Miranda (2022) menciona que algunos de los alcances propuestos en esta reunión fueron los siguientes: optimizar la ejecución del presupuesto para alcanzar un diagnóstico más acertado, aprobación del reglamento de la ley para fortalecer la atención de la salud y el inicio de actividades de la comisión multisectorial para favorecer a los afectados.

Es en este contexto; según Cañizares (2000) el uso de los bioadsorbentes se ha popularizado para poder tratar las aguas afectadas por la contaminación de metales pesados, siendo una alternativa novedosa, viable y con menor costo que otros tratamientos tradicionales que puede funcionar para diversos territorios. Reflejo de ello son algunos datos en el Perú que apuntan lo siguiente: las cáscaras de maracuyá logran remover más del 80% del plomo, cromo o cobre del agua (El Comercio, 2018), un biopolímero a base de almidón de papa nativa y mucílago de nopal logra remover hasta el 73% de metales pesados en aguas residuales (López, 2022), entre

otras. Es en este contexto, en el cual aún se siguen explorando nuevas especies alternativas para llevar a cabo el proceso de bioadsorción, que incrementa la relevancia de realizar estudios que puedan investigar la efectividad de remoción de diversos metales pesados de acuerdo a ciertas condiciones y el uso de determinadas especies. Es por ello por lo que en la presente investigación se plantea evaluar capacidad de biosorción de la cascara de cocona *solanum sessiliflorum* y tamarindo *tamarindus indica* para la remoción de cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.

## **1.1 Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1 Descripción del problema***

Las diferentes actividades que el hombre realiza a nivel industrial deja en el ambiente sustancias contaminantes diversas, que impactan negativamente sobre los diferentes ecosistemas terrestres, dentro de los cuales los metales pesados resultan estar dentro de los más peligrosos por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación que estos poseen, en este sentido es importante desarrollar métodos o técnicas que permitan removerlos de los efluentes antes de que estos sean vertidos a los diferentes cuerpos receptores. Dentro de las técnicas de remoción tenemos aquellos que utilizan compuestos químicos, como una solución al problema, sin embargo, terminan incrementándolo, debido a que los reactivos químicos utilizados precipitan junto con los metales pesados.

Uno de los métodos que se vienen utilizando últimamente son aquellos que remueven metales, pero sin incrementar la presencia de sustancias químicas, así tenemos por ejemplo el uso de compuestos orgánicos, elaborados a partir de frutos desechados como es el caso de las cascara, las cuales al ser procesadas adecuadamente permiten remover metales pesados por la capacidad de biosorción que estos poseen. El Cadmio es sin duda alguna uno de los metales más tóxicos que existe en la naturaleza debido a su capacidad acumulativa que tiene sobre los organismos, como las plantas, los animales y el hombre. En el hombre el cadmio tiende a

bioacumularse en el riñón, hígado y huesos, así mismo puede encontrarse en un estado cambiante debido a la asimilación del calcio y la absorción ósea, lo cual puede permitir y/o aumentar la probabilidad de sufrir de osteomalacia y/o osteoporosis, tipos de fracturas óseas, dolor en las articulaciones y la creación de cálculos renales. De igual manera, el cadmio también ha sido calificado como elemento carcinogénico de nivel I por parte de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

A través de los tiempos se han producido numerosos casos de intoxicaciones por Cadmio, un ejemplo claro es lo sucedido en el río Jinzu, en Japón, donde los pobladores de la prefectura de Toyama fueron afectados por dolencias nunca vistas, con huesos débiles y quebradizos, sumados a los fuertes dolores, anemia e insuficiencia renal que conlleva a la muerte. La enfermedad fue conocida como Itai Itai (hay-hay) por los fuertes dolores que produce en las articulaciones y la columna vertebral, debido a la acumulación por Cadmio en el organismo, el mismo que fue asimilado por medio del consumo de arroz y que presentaba concentraciones del orden de 4.2 mg/l, donde quedó claro que se presentó un efecto de biomagnificación por presencia del metal pesado.

En este sentido, es necesario aplicar métodos que permitan remover el Cadmio de las aguas residuales de las diferentes actividades generadoras, dentro de los cuales se propone el uso de compuestos orgánicos como la cascara de cocona *solanum sessiliflorum* y tamarindo *tamarindus indica*, quienes pueden servir como floculantes naturales en lugar de utilizar agentes químicos que incrementen la presencia de sustancias dañinas en el ambiente.

## 1.1.2 *Formulación del problema*

### 1.1.2.1 Problema principal

¿Cómo será la capacidad de biosorción de la cáscara de *Cocona solanum sessiliflorum* y Tamarindo *tamarindus indica* para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2020?

### 1.1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de *Cocona solanum sessiliflorum* como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de Tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la eficacia de la cáscara de *Cocona solanum sessiliflorum* como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio?
- ¿Cuál será la eficacia de la cáscara de Tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio?

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 *Antecedentes nacionales*

Kwikima et al. (2021) en su artículo denominado “*Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater: A review*”, tuvieron como objetivo analizar la viabilidad de técnica de varios biosorbentes basados en desechos agrícolas para eliminar el cadmio en aguas residuales, todo ello con el fin de lograr una respuesta más acertada sobre cuáles podrían ser los factores que afectarían el proceso de

adsorción (como el pH, tiempo de contacto, temperatura, concentración inicial, dosis de adsorción, entre otros). Cabe resaltar que se comparó el proceso de adsorción con tratamientos de precipitación química, intercambio iónico, coagulación-floculación, flotación, filtración de membrana, tratamiento electroquímico. Resaltando así que las principales ventajas de esta técnica es que puede tener como objetivo de eliminación diversos contaminantes, tiene una alta capacidad, cinética rápida, puede ser selectivo de acuerdo al adsorbente y se pueden conseguir metales puros, mientras que sus desventajas fueron que el rendimiento del proceso depende del tipo de bioadsorbente y que se debe realizar la derivación química para mejorar la capacidad de adsorción. Asimismo, se estableció cómo en este proceso pueden influenciar ciertos factores tales como: los valores del pH; si aumenta en la solución aumenta la eliminación de metales catiónicos mientras que los metales aniónicos disminuyen, la temperatura; puede impactar en la capacidad de adsorción reduciéndola entre 10-20% dependiendo del bioadsorbente, el dosaje, cuando este incrementa la capacidad de remoción también aumenta, entre otras. Como conclusiones principales se obtuvieron que los bioadsorbentes se constituyen ser una gran alternativa para la tecnología verde para el desarrollo sostenible por su disponibilidad local, el ser poco costosos y biodegradables.

Jayakumar et al. (2021) en su investigación “*Biosorption potential of brown algae, Sargassum polycystum, for the removal of toxic metals, cadmium and zinc*”, tuvieron como objetivo principal evaluar el potencial de bioadsorción del alga parda para la eliminación de metales tóxicos como cadmio y zinc en condiciones controladas. Para ello, se recolectó el alga parda en las costas del mar de Tamilnadu, India, luego esta fue lavada para eliminar impurezas y secar la biomasa con la luz del día por un periodo de 1 día para después ser secada controladamente a 50°C por 12 horas para producir la muestra seca. Además, se hizo uso del diseño Box-Behnken para identificar las condiciones óptimas requeridas para remover los metales seleccionados, los experimentos por lotes se realizaron en base a este diseño para

explorar los efectos de 3 variables: el pH, la masa de biosorbente (g/L) y velocidad de agitación (rpm). En ese sentido, se identificaron que las condiciones óptimas para eliminar el cadmio fueron de pH: 4.65, masa de biosorbente: 1.8 g/L y velocidad de agitación: 76 rpm, mientras que para el zinc fueron de pH: 5.7, masa de biosorbente: 1.2 g/L y velocidad de agitación: 125 rpm. Los resultados principales fueron los siguientes: (1) en condiciones óptimas, la máxima eficiencia de remoción alcanzada con Cd y Zn es 86.20 y 92.90%, (2) la correlación entre las respuestas teóricas y las respuestas experimentales fueron satisfactorias, (3) las capacidades de absorción monocapa de Cd y Zn fueron de 113.90 y 122 mg/g, respectivamente, y (4) la evaluación de temperatura demostró que la biosorción es espontánea y endotérmica para ambos metales.

Dey et al. (2021) en su estudio denominado “*Characteristic and biosorption capacities of orange peels biosorbents for removal of ammonia and nitrate from contaminated water*”, tuvieron como objetivo evaluar la capacidad de bioadsorción de las cáscaras de naranja para la remoción de amoníaco y nitrato de aguas contaminadas ello con la finalidad de que esta investigación experimental contribuyera para establecer a la naranja como una de las plantas de tratamiento a nivel comunitario o doméstico en países desarrollados, países en desarrollo y subdesarrollados. Para poder llevar a cabo el experimento se realizaron diversos pasos como: la preparación de las cáscaras de naranja bioadsorbentes, pruebas del amoníaco y nitrato presente en el agua, el proceso de adición de los bioadsorbente en el agua, las pruebas de las muestras del agua para detectar la presencia del amoníaco y nitrato. Es así como se obtuvieron los principales hallazgos: (1) los biosorbentes de piel de naranja de 4 g son altamente efectivos para la eliminación completa del amoníaco y el nitrato presentes en el agua, (2) adsorción óptima se obtuvo a pH básico de 5,5, dosis de 4 g, tiempo de contacto de 60 min, temperatura de 35 °C y velocidad de agitación de 90 rpm, y (3) el rango de tamaño de las partículas presentes en los biosorbentes de cáscara de naranja es de 2,45 a 3,4  $\mu\text{m}$ . En conclusión, se puede

establecer la biosorción es un método no complejo, económico y que ayuda al medio ambiente en cuanto a la eliminación de amoníaco y nitratos del agua contaminada.

Dihn et al. (2020) en su artículo de investigación titulado *“Primary biosorption mechanism of lead (II) and cadmium (II) cations from aqueous solution by pomelo (Citrus maxima) fruit peels”*, planteraron como objetivo principal indagar el mecanismo de biosorción de plomo (II) y cadmio (II) originado de solución acuosa mezclando los métodos analíticos espectroscópicos con los modelos teóricos. Es así como, para la metodología se consideraron químicos tales como alcohol etílico (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 98%), nitrato de plomo (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1000 mg/L), nitrato de cadmio (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 1000 mg/L), ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> 63%) e hidróxido de sodio (NaOH 98%). Como parte del procedimiento se llevó una caracterización de la muestra, la preparación del bioadsorbente por medio de la cáscara de la fruta de pomelo (que pasó por una limpieza con bidestilado, fue secada a 80°C por un periodo de 24 h y fue triturada de 0,5 a 1mm aproximadamente) y la aplicación de la técnica de Batch para determinar la adsorción del cadmio. En ese sentido, se obtuvieron los resultados siguientes: con relación a la caracterización de la muestra se encontraron contenidos de carbono de 47.41% y de oxígeno de 52.59%, el pH logra una mayor adsorción de cationes cuando sea superior a 4,5 pero disminuye cuando es superior a 5,5, la cantidad de cationes eliminados disminuye cuando el KCl incrementa (en el caso del plomo pasa de 86,21% a 48,12% y en el caso del cadmio pasa de 49, 01% a 47%), y en tiempo de 120 min se eliminó el 90% del plomo y en tiempo de 100 min se eliminó el 87% de cadmio.

Lan y Tsai (2023) en su artículo titulado *“Assessing the Effectiveness of Fermented Banana Peel Extracts for the Biosorption and Removal of Cadmium to Mitigate Inflammation and Oxidative Stress”* desarrollaron como objetivo principal evaluación de la propiedad de adsorción y el potencial de remoción de cadmio de cáscaras de banana fermentada. Para ello, dentro de la metodología se consideraron las siguientes fases: cultivo de cepas de las cáscaras

de banana, detección de cepas de LAB con tolerancia al cadmio, detección de cepas de LAB con potencial de adsorción de cadmio, pruebas de resistencia a los ácidos, resistencia a las sales biliares y tolerancia a los antibióticos, producción de polvo LAB fermentado a partir de cáscara de plátano, ensayo de actividad antioxidante, análisis de la tasa de supervivencia de las células Caco-2 utilizando polvo de laboratorio de cáscara de plátano fermentado, el polvo de fermentación LAB de cáscara de plátano inhibe la inflamación inducida por cadmio en las células Caco-2, análisis del daño oxidativo celular, análisis FT-IR y finalmente, se culminó con el análisis estadístico. Es así como se encontraron los siguientes hallazgos: la máxima capacidad de soporte de cadmio fue de hasta 500 ppm con una inhibición de un 50%, la máxima remoción de cadmio fue de 96% con un tiempo de duración de la incubación de 3h, las cáscaras de plátano exhibieron una capacidad de antioxidante inherente, los resultados experimentales demostraron que al añadir cadmio a las células por un periodo de 24h se influyó significativamente en la producción de citocinas y se observó un estiramiento entre  $1366 - 1384 \text{ cm}^{-1}$  lo que indica vibración de flexión S=O en grupos ácido sulfónico y sulfonato.

### **1.2.2 Antecedentes internacionales**

Salas y Effio (2020) en su artículo de investigación denominado “*Tiempo de Contacto y pH de la Cáscara de Granadilla (Passiflora ligularis L.) en la Biosorción de Zinc en Aguas Contaminadas del Río Grande*”, plantearon como objetivo principal evaluar la capacidad de adsorción de zinc mediante el bioadsorbente natural creado por medio de cáscaras de la granadillas; en ese sentido, se prestó suma importancia a elementos tales como la influencia del tiempo de contacto y los niveles de pH de la locación. Es por ello por lo que, para el método se planteó como ubicación de recolección para las muestras vertientes del río Grande en La Libertad, en estas se establecieron tres puntos de muestreo en los cuales se adquirieron alícuotas de 1 litro a las cuales se les añadió  $\text{HNO}_3$  como preservante. En la metodología se contempló la caracterización de la muestra (mediante el protocolo para el monitoreo de la calidad de los

recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua), la preparación de la biomasa de cascara de granadillas, la obtención de la curva de calibración de zinc, el análisis de adsorción de zinc en las aguas y la obtención de isoterma. Es así como, los resultados principales encontrados en el estudio fueron los siguientes. En primer lugar, con un pH de 6 la capacidad de adsorción fue de 93,70 mg/g, con un pH de 8 la capacidad de adsorción fue de 117,89 mg/g y con un pH de 10 la capacidad de adsorción fue de 119,20 mg/g. En segundo lugar, con relación a la eficiencia de remoción se observó que este se dio con un pH de 10 removiendo hasta el 99.96% del zinc. En tercer lugar, la concentración de zinc disminuye con relación a la cantidad de tiempo a la cual se ve expuesta. Por ello los autores concluyeron que el pH y la cantidad de exposición disminuye la concentración de Zinc, y, que al igual que en otros estudios, el biosorbente originado de cascara de granadilla es eficiente para eliminar la presencia de metales en gran cantidad.

Valverde (2020) en su tesis denominada “*Biosorción de metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cáscaras de Citrus limonium*” estableció como meta evaluar la efectividad de la cáscara de limón para la remoción de metales pesados en el drenaje ácido por bioadsorción en condiciones de laboratorio. Para la metodología se realizó una investigación exploratoria de la cual se seleccionaron 10 investigaciones que cumplieran con criterios e indicadores de coherencia, confiabilidad, así como lograban cumplir con las especificaciones de la investigación. Es así como se obtuvieron los siguientes hallazgos. En primer lugar, en cuanto a remociones de metales, la óptima de plomo se logra con 1.5g obteniendo una erradicación del 96.08%, la óptima de mercurio se logra con 3.0g obteniendo una erradicación del 98.58%, la óptima de cromo se logra con un pH 5 obteniendo una erradicación del 87.5%, la óptima de cloruro de calcio logró una erradicación de 47.04% mientras que para el cobre fue de 46.95%. En segundo lugar, se comprueba que en estudios comparativos entre la eficacia de la cáscara de toronja, naranja y limón, la última logra obtener mejores resultados. Es así como

el autor concluye que la cáscara de limón cumple de manera efectiva en cuanto a ser un material relativamente bueno y viable para la biosorción de metales pesados, sin importar si es en un contexto industrial o doméstico.

Camacho y Minchola (2021) en tesis denominada *“Efecto de Ceniza de Cacao Theobroma Cacao, en la Remoción de Plomo y Cadmio, caso: Río Llactun - Ancash - 2021”*, ello con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el río Llactun al emplear 0.50g/L, 0.60g/L y 0.7g/L de ceniza de cáscara de cacao mientras que los objetivos específicos fueron: caracterizar el agua del río Llactun, evaluar los análisis de fluorescencia de rayos x y evaluar los niveles de plomo y cadmio de las aguas del río Llactun antes y después de la remoción. Con motivo de lograr estas metas, la metodología fue de tipo aplicada y el diseño de la misma se encontró en la categoría de cuasi-experimental y se consideró una población de 50 litros y  $\frac{1}{2}$  de agua para erradicar la presencia de plomo y cadmio que fueron separados en una muestra patrón y tres muestras más; asimismo, para analizar los datos se emplearon métodos estadísticos descriptivos y métodos estadísticos inferenciales. Los resultados encontrados fueron los siguientes: con relación a la muestra 1 (0.50g/Lt de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.018mg/l de plomo y de 0.0110 a 0.0073mg/l de cadmio, con relación a la muestra 2 (0.60g/Lt de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.008mg/l de plomo y de 0.0110 a 0.0028mg/l de cadmio, y, con relación a la muestra 03 (0.70g/Lt de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.003mg/l de plomo y de 0.0110 a 0.0013mg/l de cadmio. Todo ello colaboró a concluir que la cáscara de cacao puede ser considerada como un elemento muy útil para la remoción de metales pesados, considerando claro las características propias de la muestra y el dosaje de aplicación de bioadsorbente.

Choquejahuá (2018) en su tesis titulada *“Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomásas de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018”* formuló

como objetivo general determinar la eficacia de remoción de arsénico por medio de la bioadsorción con biomásas de gramos de cebada y avena en efluentes. Por ello, se empleó una metodología de tipo experimental con un diseño factorial, para la preparación de los efluentes estos pasaron por las siguientes etapas: lavado, desecado, triturado, tamizado, activación, segundo desecado, molido y un segundo tamizado. De igual manera, se preparó la solución acuosa de arsénico, el ensayo de bioadsorción mediante la técnica de jarras y un análisis final de arsénico. Como resultados principales se encontraron los siguientes. En primer lugar, el valor que proporciona una eficacia óptima fue un pH de 8, con una cantidad de bioadsorbente de 5g, por un intervalo de tiempo de 330 minutos. En segundo lugar, los tratamientos de grano de avena removieron lo siguiente: T1 removió a un 89.5%, T2 con un 90.6%, T3 con un 89.3% y el T4 removió un 90%, mientras que, con relación a los tratamientos de granos de cebada el T5 reflejó un valor de remoción de 89.6%, T6 un 89 %, T7 con un porcentaje de 89.4% y el T8 con un porcentaje de 89.3 %. Como conclusión se obtuvo que ambos tipos de granos demuestran ser eficientes en relación a la remoción de metales pesados; ya que, todos los valores porcentuales se ubicaron por encima del 50%.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 *Objetivo general***

- Establecer la capacidad de biosorción de la cascara de Cocona *solanum sesiliflorum* y Tamarindo *tamarindus indica* para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2023.

#### **1.3.2 *Objetivos específicos***

- Estimar la dosis óptima de la cáscara de Cocona *solanum sesiliflorum* como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.

- Estimar la dosis óptima de la cáscara de Tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.
- Calcular la eficacia de la cáscara de Cocona *solanum sesiliflorum* como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.
- Calcular la eficacia de la cáscara de Tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.

#### 1.4 Justificación

La presente investigación que se desarrollará a nivel de laboratorio permitirá dar a conocer la capacidad que tienen los floculantes naturales con relación al proceso de biosorción de elementos como los metales pesados, como por ejemplo el Cadmio. Los elementos biológicos provenientes de desechos orgánicos como las cáscaras de las frutas pueden colaborar a brindar una solución en gran medida con relación a la problemática de erradicación de metales pesados presentes en los efluentes de origen industrial. La investigación pretende reemplazar el uso de un coagulante químico por un orgánico, el cual es de naturaleza biodegradable, logrando de esta manera reducir la presencia de agentes químicos en el ambiente. Los efluentes generados en la etapa de producción de las diferentes industrias utilizan por lo general compuestos inorgánicos como Hidróxidos, Carbonatos, Óxidos, etc. para remover metales pesados, generando un residuo no biodegradable, en este sentido el uso de un floculante natural elaborado a partir de las cascaras de Cocona y Tamarindo ayudaran en la adherencia de compuestos de carácter iónico con cargas positivas, lo cual, tiene como finalidad colaborar con su adherencia y erradicación. A nivel industrial puede colaborar, a su vez, con la reducción significativa de la utilización coagulantes de origen inorgánico y disminuyendo así los costos operativos de manera exponencial, apostando por el consumo de compuestos biodegradables de desechos como la cáscara de Cocona y Tamarindo.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1 *Hipótesis General*

La evaluación de la capacidad de biosorción de la cáscara de *Cocona solanum sesiliflorum* y Tamarindo *tamarindus indica* permitirá conocer el nivel de erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2023.

### 1.5.2 *Hipótesis Específica*

- La cáscara de *Cocona solanum sesiliflorum* como biosorbente tiene su dosis óptima entre 2 y 2.5 g. para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.
- La cáscara de Tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente tiene su dosis óptima entre 1.0 y 2.5 g. para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.
- La cáscara de *cocona solanum sesiliflorum* como biosorbente tiene una eficacia entre el 85 y 95% en la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.
- La cáscara de tamarindo *tamarindus indica* como biosorbente tiene una alta eficacia entre el 70 y 95% en la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio.

## II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1 *Biosorción*

El término biosorción es un concepto multidimensional que, como Fomina y Gadd (2014) mencionan, puede ser definido de tres formas: (1) proceso pasivo metabólicamente independiente, (2) proceso que incluye técnicas pasivas y activas en el caso de la biomasa, y (3) generalización fundamental que cubre todos los aspectos de las interacciones de cualquier sorbato con una matriz biológica. Estos mismos autores señalan que este concepto ha sido empleado por algunos autores para definir una variedad de procedimientos que incluyen la bioadsorción, biosorción por biomasa viva o muerta, bioacumulación y una gran cantidad de sustancias (tales como metales, radionúclidos y compuestos orgánicos), considerándolo de manera general como un proceso físico químico que tiene como finalidad eliminar de sustancias de la solución por material biológico (Fomina y Gadd, 2014). Asimismo, es importante mencionar que este proceso comienza a llevarse a cabo desde la adhesión pasiva a una biomasa inerte, situación que trae consigo que este mecanismo de eliminación no este comprometido con el metabolismo de los microorganismos empleados. Este procedimiento tiene como característica principal el capturar contaminantes en una estructura celular, siendo así una función primordial la contención de los metales que pueden ser encontrados en la superficie celular del biosorbente, este proceso se lleva a cabo mediante el intercambio fisicoquímico (ej. atracción electrostática, intercambio iónico, complejación, precipitación o la mezcla de estas técnicas), de los metales a categorías funcionales tales como: carboxilos, hidroxilos, fosfatos, etc. (Dávila, 2012)

### **2.1.2 Biosorbentes**

Dávila (2012) menciona que los componentes sorbentes de origen orgánico son los materiales biológicos que permiten evidenciar los vínculos de los metales pesados aun cuando estos sean hallados en soluciones acuosas que se encuentran diluidas. Asimismo, este autor señala que a lo largo de los años se han empleado diversos tipos de biosorbentes para remover la presencia de los metales pesados, aunque muchas veces este proceso también incluye la erradicación de elementos tales como algas, hongos, bacterias y residuos agroindustriales. A esto se le añade el hecho de que diferentes investigadores han empleado biomاسas de acuerdo a la disponibilidad en una zona específica, mientras que otros investigadores se utilizaron las biomاسas de acuerdo a la separación de cepas de microorganismos para la investigación de sus propiedades de biosorción. En la Tabla 1, se pueden observar distintos tipos de biomاسas empleadas en la erradicación de cadmio, plomo y cobre de soluciones acuosas.

**Figura 1**

*Capacidad de biosorción (mmol/g) de diferentes tipos de biomásas.*

<b>Tipo</b>	<b>Material</b>	<b>Fuente</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>
Hongos	<i>Rhizopus arrhizus</i>	[48]	0.27	0.44	0.25
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	[49]	0.10	0.56	---
	<i>Rhizopus nigricans</i>	[50]	0.17	0.80	---
	<i>Rhizopus Oligosporus</i>	[51]	---	---	2.25
Algas	<i>Ascophyllum nodosum</i>	[52]	---	---	0.85
	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	[53]	---	---	1.10
	<i>Sargassum sp.</i>	[54]	0.76	1.16	1.03
	<i>Cystoseira indica</i>	[55]	---	---	1.97
Bacterias	<i>Bacillus sp.</i>	[56]	---	---	---
	<i>Bacillus biomass</i>	[57]	---	---	---
	<i>Bacillus biomass</i>	[57]	---	---	---
	<i>Arthrobacter sp</i>	[58]	0.11	---	0.13
Residuos agrícolas (Plantas, hojas, frutos, granos, etc.)	Cáscara de arroz	[59]	0.19	0.06	---
	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	[60]	0.17	0.10	0.21
	Pulpa del betabel	[61]	---	0.36	---
	Pulpa del betabel	[62]	0.17	0.36	0.33
	Té verde	[63]	---	0.09	---
	Hojas de té negro	[64]	---	---	---
	Residuos de granos de café	[65]	0.02	---	0.03
	Cáscara de café	[66]	0.06	---	0.12
	Ectodermis de <i>Opuntia sp.</i>	[67]	---	0.25	---
Ceniza de cáscara de arroz	[68]	---	27.6	---	

*Nota.* Tomado de *Capacidad de biosorción (mmol/g) de diferentes tipos de biomásas*, por Dávila, 2012, <http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>.

### **2.1.3 Parámetros que Intervienen en el Proceso de Bioadsorción**

Para realizar una adecuada bioadsorción existen diversos factores los cuales permiten al investigador desarrollar adecuadamente este proceso de manera óptima, estos principios son los siguientes: parámetros fisicoquímicos, cualidades del agente contaminante, características de la biomasa y naturaleza del medio (Carro de Diego, 2012).

#### **2.1.3.1 Influjo por el tipo de bioadsorbente**

Los bioadsorbente poseen características para que pueda realizarse los procedimientos de adsorción, estos incluyen elementos que agrupan cuestiones desde la cuantía de conjuntos

funcionales, el origen del bioadsorbente y el vínculo que pueda existir entre los siguientes elementos: metal, adsorbente y disponibilidad de este último (Volesky, 2003). Cabe resaltar que para conocer las propiedades del bioadsorbente a emplear, primero se debe realizar un pretratamiento, este es un proceso que involucra el aseo, enjuagado y triturado; no obstante, en casos específicos se lleva a cabo un tratamiento que involucra compuestos químicos con la finalidad de optimizar la propiedad de adsorción (Carro de Diego, 2012).

### **2.1.3.2 Influjo por el tamaño de partícula**

Es un indicador de alta relevancia; puesto que, actúa de manera inmediata y espontánea en el proceso; en otras palabras, cuando existe una magnitud mínima de la partícula se genera una disponibilidad más elevada para que así pueda obtener una reacción y el adsorbato logre entrar a esta sin necesidad de evocar una difusión superior (Wase y Forster, 1997). Además, como mencionan Gupta et al. (2003), el tamaño y la superficie del bioadsorbente son consideradas como las propiedades más importantes del mismo; puesto que, cuanto mas pequeño el tamaño de las partículas la cantidad de absorción disminuye; sin embargo, estos autores también mencionan que en determinados casos el tamaño del bioadsorbente puede no tener efectos sobre el procedimiento de bioadsorción.

### **2.1.3.3 Influjo del pH**

Es un indicador de alta relevancia; puesto que, actúa de manera inmediata y espontánea en el proceso; en otras palabras, cuando existe una magnitud mínima de la partícula se genera una disponibilidad más elevada para que así pueda obtener una reacción y el adsorbato logre entrar a esta sin necesidad de evocar una difusión superior (Wase y Forster, 1997). Además, como mencionan Gupta et al. (2003), el tamaño y la superficie del bioadsorbente son consideradas como las propiedades más importantes del mismo; puesto que, cuanto mas pequeño el tamaño de las partículas la cantidad de absorción disminuye; sin embargo, estos

autores también mencionan que en determinados casos el tamaño del bioadsorbente puede no tener efectos sobre el procedimiento de bioadsorción.

#### **2.1.3.4 Influjo tiempo de contacto**

De acuerdo a Qaiser et al. (2007), la duración del contacto es un indicador importante que considerar; ya que, este aumenta la cantidad de absorción ante el mayor tiempo de contacto con el contaminante de manera casi constante. Este parámetro se fundamenta en indagar sobre el tiempo que se toma para llegar a un estado de equilibrio con relación al material y el soluto para poder así llevarse a cabo con totalidad el proceso de adsorción; no obstante, para poder calcular la cantidad de tiempo que se deben considerar componentes tales como: dosaje y concentración del bioadsorbente, tipo y origen del contaminante, en general, estos procesos suelen caracterizarse por tener una duración corta y ser de presupuesto económico (Liu y Wang, 2009).

#### **2.1.3.5 Influjo de la Temperatura**

De acuerdo a Qaiser et al. (2007), la duración del contacto es un indicador importante que considerar; ya que, este aumenta la cantidad de absorción ante el mayor tiempo de contacto con el contaminante de manera casi constante. Este parámetro se fundamenta en indagar sobre el tiempo que se toma para llegar a un estado de equilibrio con relación al material y el soluto para poder así llevarse a cabo con totalidad el proceso de adsorción; no obstante, para poder calcular la cantidad de tiempo que se deben considerar componentes tales como: dosaje y concentración del bioadsorbente, tipo y origen del contaminante, en general, estos procesos suelen caracterizarse por tener una duración corta y ser de presupuesto económico (Liu y Wang, 2009).

Es un procedimiento que afecta la velocidad y la cantidad de absorción; puesto que, al incrementar la temperatura la velocidad de la difusión de las moléculas adsorbentes en la capa límite exterior y dentro de los poros adsorbentes incrementa de igual manera, ello puede reducir la viscosidad de la solución, es importante mencionar que la temperatura no debe ser lo suficientemente alta como para poder causar daño físico o químico al bioadsorbente (Rosique, 2013). De igual manera, Izquierdo (2020) señala que el incremento de biomasa está relacionada al equilibrio dinámico; es así como, la variabilidad de la temperatura es favorecida por el procedimiento de bioadsorción.

#### **2.1.4 Mecanismos de Biosorción**

Para poder promover que el procedimiento de biosorción fije metales pesados han surgido diversos mecanismos que intentan dar una explicación a la detención o adhesión de los metales en diversas partes del biosorbente. Algunas de esas técnicas son las siguientes (Dávila, 2012):

- Adsorción física: hace referencia los fenómenos relacionados a fuerzas de Van der Waals; por lo cual, es caracterizado principalmente por ser un proceso veloz y variable.
- Intercambio iónico: es el proceso por el cual los iones metálicos que se encuentran en los polisacáridos de las biomasas (ej. calcio, magnesio, potasio, etc.) son cambiados por los iones metálicos inmersos en la solución líquida (ej. cobre, plomo, etc.), comparte con la técnica de adsorción física el hecho de ser procesos apresurados y alterables.
- Complejación o quelación: en esta técnica el metal se incorpora a los centros activos de la pared celular por medio de enlaces químicos, lo cual tiene como consecuencia que se produzcan determinados complejos.
- Precipitación: este proceso comprende la conformación de un complejo en la pared celular que después es hidrolizado.

De acuerdo a Rene et al. (2017), pese a las diferentes características y propiedades de cada tipo de mecanismo, se debe resaltar que en muchas ocasiones estos se encuentran íntimamente relacionados ocurriendo así con o sin actividad microbiana a nivel metabólico o no metabólico. Es así como, aquellos mecanismos que no dependen del metabolismo son usualmente interacciones fisicoquímicas veloces y cambiables entre metales y grupos funcionales encontrados en la superficie celular. Por su parte, los mecanismos dependientes que dependen del metabolismo suelen ocurrir en mínimas cantidades y la precipitación de metales son influidos por el mismo.

### **2.1.5 Metales Pesados**

Estos conforman un grupo de metales que se caracterizan por tener un volumen atómico que supera a 20 y una densidad de más de  $4\text{g/cm}^{-3}$ ; de igual manera, estos son categorizados en dos tipos: no esenciales; referido a aquellos que son considerados como nocivos/dañinos pues no suelen matizarse por medio de la vía metabólica, y esenciales; aquellos que son necesarios para que los organismo se desarrollen de manera óptima, suelen ser considerados como un problema para el medio ambiente, cuando no son filtrados mediante tratamiento adecuados en los efluentes naturales por lo cual pueden llegar a ser perjudiciales para diversos ecosistemas (Robards y Worsfold, 2011).

Los metales pesados pueden ser hallados en su forma natural sobre la corteza terrestre en concentraciones trazas asociadas a diferentes minerales o en forma de depósitos; además, su existencia en todo el planeta se debe a fenómenos naturales tales como: alteraciones y erosiones de rocas volcánicas, lavado de suelos orgánicos y actividades humanas (construcción de presas, actividades industriales y urbanización) (Amiart y Rainbow, 2009). Siguiendo esta línea, es importante mencionar que la contaminación derivada por la presencia de metales pesados en concentraciones demasiado elevadas en zonas acuíferas y terrestres terminan desarrollando problemáticas altamente perjudiciales en relación a la contaminación; ello se

debe a que, las concentraciones elevadas producen toxicidad de estos metales que al momento de llegar a acumularse en los organismos tiene consecuencias perjudiciales en tanto a trastornos fisiológicos y metabólicos (Wong, 1988).

### **2.1.6 *Remoción de Metales Pesados***

Los metales pesados como el cobre, cadmio, mercurio, cromo y plomo se encuentran en las aguas residuales, siendo esta situación consecuencia de diversos procesos industriales y, como resultado de su toxicidad que presentan sus concentraciones deben sintetizarse a niveles muy bajos antes de ser descargados al agua residual; es por ello, que se han desarrollado e implementado diversas estrategias para poder remover la presencia de los metales pesados. Sin embargo, pese a que no se han estructurado procesos específicos para la erradicación de metales pesados, la mayor parte de tratamientos de aguas residuales remueven grandes cantidades de los metales pesados más difíciles que se encuentran en las aguas residuales. Es aquí donde es importante mencionar los metales pesados no pueden degradarse, sino modificarse o removerse del medio (Duran, 2007).

En ese sentido, autores como Caviedes et al. (2015) han determinado que la clasificación de la gran variedad de técnicas de purificación de las aguas residuales enfocadas en la remoción de metales pesados, si bien depende de diferentes factores, suelen ser clasificadas como: 1. Convencionales; hacen referencia a las que generalmente se utilizan para remover los agentes contaminantes (ej. filtración por membrana, precipitación química, entre otros), y, 2. No Convencionales; hacen referencia a procedimientos novedosos y actualizados para eliminar de metales en aguas residuales primordialmente de origen industrial (ej. fitorremediación, ceniza volante, entre otros).

### **2.1.7 *Tecnologías Convencionales para la Remoción de Metales Pesados***

Según Caviedes (2015) son procedimientos fisicoquímicos que son empleados habitualmente desde hace varias décadas para remover la presencia anormal y/o perjudicial de

metales en los efluentes. Algunos de los tratamientos más empleados dentro de este grupo son los siguientes:

- **Electrodialisis:** es un tipo de tratamiento de filtración por membrana que es capaz de remover elementos iónicos de soluciones acuosas al utilizar membranas permeables específicas en un espacio eléctrico contante; es por estas características que, logra seleccionar compuestos de un tamaño mínimo (0.0001mm) lo que le otorga una expansión en sus posibilidades de tratamiento (Caviedes, 2015).
- **Intercambio iónico:** es la técnica de separación física mediante la cual los iones de una solución se trasladan a una matriz sólida que, paralelamente, libera iones de un tipo diferente, pero con una carga igual, suelen ser empleadas de manera constante en industrias de acabados metálicos porque logra recuperar el valor de metal y produce una menor cantidad de lodos (Caviedes, 2015).
- **Adsorción (convencional):** es la técnica mediante que se basa en la separación de una sustancia cuando se encuentra en una faceta de fluidez en la superficie de un adsorbente de carácter sólido; además, se factores por elementos tales como los tipos de contaminantes, la alta capacidad, cinética veloz y selectividad en relación al adsorbente que sea empleado. Su uso se destaca en la erradicación de colorantes, metales pesados, elementos radioactivos, entre una gran variedad de contaminantes (Caviedes, 2015).
- **Precipitación química:** es un procedimiento que tiene resultados sumamente efectivos en relación a la precipitación de hidróxido, tener un costo reducido, controlar de manera sencilla el pH y eliminar la floculación y sedimentación (Caviedes, 2015).

### **2.1.8 *Procesos Fisicoquímicos***

Los sistemas fisicoquímicos se determinan como reflejo de los cambios acontecidos originados por las fuerzas físicas que se producen en conjunto con las interacciones químicas para así lograr establecer una técnica de purificación de efluentes contaminados que logre

caracterizarse por su efectividad en relación a los resultados de disminución de contaminantes y a elementos tales como el costo/viabilidad (Cerón, 2011). Cabe resaltar que los tratamientos que se realizan para reducir los parámetros derivados de estos procedimientos se dan antes de que las aguas contaminadas sean enviadas a la red de alcantarillado, ello con el motivo de incrementar la efectividad en tratamiento próximos (Aguilar, 2002). De igual manera, Marín (2012) señala que los procesos químicos empleados para el tratamiento de aguas han incrementado su uso en tanto a eliminación de aguas residuales complementados con tratamientos a nivel secundario y terciario de estas.

### **2.1.9 Cadmio**

Se le considera como un elemento químico que, a su vez, se encuentra dentro del grupo de metales pesados que se caracteriza por su toxicidad y su color plateado claro; además, se puede obtener como un subproducto en mayor medida durante el proceso de refinamiento del zinc y en menor medida durante el refinamiento de cobre y plomo (Sánchez, 2016). Algunas propiedades que posee son las siguientes: logra volatizarse con facilidad cuando se encuentra en temperaturas altas, posee compuestos inorgánicos fácilmente solubles (acetato, cloruro y sulfato) y difícilmente solubles (carbonato, óxido y sulfuro), en el suelo puede ser absorbido usualmente por plantas y cultivos, y, generalmente cuando se le utiliza es acumulaciones eléctricas es conjunto a elementos como el azufre o el oxígeno (Elinder, 1985).

Rosique (2013) señala que el cadmio es un metal tóxico que desde hace muchas décadas ha sido relacionado con la contaminación del medio ambiente; puesto que, posee las siguientes características: bioacumulación, tiene efectos perjudiciales para el hombre y el entorno ambiental, y, logra moverse a grandes intervalos de distancia por medio del viento. Sin embargo, este mismo autor menciona que existe una tendencia al alza en las últimas décadas con relación a la producción y utilización de este elemento en actividades industriales, siendo así que su incremento se puede describir como exponencial; por lo cual, su eliminación se ha

convertido en una gran problemática para el ambiente, a lo cual se le añade el hecho de que este elemento se ha posicionado como un compuesto esencial con relación a la fabricación de productos que abarcan desde baterías hasta procesos como la galvanoplastia.

#### **2.1.10 Efectos del Cadmio**

La presencia del cadmio tiene efectos negativos cuando se encuentra en concentraciones demasiado elevadas, ya sea por medio del agua, alimentos o el aire, es así como logra estructurarse como un agente contaminante teniendo como consecuencias la intoxicación de este metal por la ingesta de alimentos contaminados (especialmente aquellos en contacto con el suelo), la presencia de enfermedades pulmonares, dolores óseos y efectos osteotóxicos (como la pérdida del tejido óseo), incrementar la contaminación del suelo debido a su alta presencia (Genchi, 2020).

#### **2.1.11 Cocona (*Solanum Sessiliflorum*): Origen y Taxonomía**

Es una especie originaria de la cuenca del Amazonas, específicamente se le considera nativa de Los Andes del Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela; asimismo, se considera que esta se encuentra en condiciones naturales en zonas que se encuentran entre los 200-1000m de altitud y suele ser cultivada en zonas de altitud desde 700m a más (Villachica, 1996). Algunas características físicas por destacar son las siguientes: se le puede utilizar como fruta o verdura, sus hojas pueden alcanzar un largo de 95 cm con un color entre granate hasta un color rojo-anaranjado, muestra una adaptación óptima a suelos neutros y alcalinos, crece a una temperatura de 24°C a más, se adapta a zonas que tengan lluvia entre 2000m hasta 8000m (Ramírez, 2019).

**Tabla 1***Clasificación Taxonómica de la Cocona*

Nombre Científico	Solanum sessiliflorum Dunal.
Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Sub- División	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea.
Familia	Solanacea.
Género	Solanum.
Especie	Solanum Sessiliflorum
Nombre Común	Cocona (español), cubiu (portugués), peach tomato (ingles)

**Nota.** Tomado de *Clasificación Taxonómica de la Cocona*, por Auccalla, 2019, <http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>.

**2.1.12 Tamarindo (*Tamarindus Indica L*): Origen y Taxonomía**

Es una fruta cuyo origen radica en el continente africano en climas predominantemente secos (desde países como Etiopía, Tanzania, Sudán y Kenia); sin embargo, en la actualidad su producción de aproximadamente entre 400-500 toneladas se encuentra dispersa en todo el mundo incluyendo regiones tropicales y subtropicales tales como el Caribe, América Central y el norte de América del Sur; además, posee una característica de suma importancia: poseer compuestos bioactivos, lo cual ha logrado que se le reconozca internacionalmente por su función antioxidante (Páez et. al, 2016). Las características físicas que se pueden apreciar de esta especie son las siguientes: tiene una altura de entre 20-30m, su longevidad es de hasta 200

años aproximadamente, sus semillas presentan dureza con un color entre rojo y marrón (López, 2010).

**Tabla 2**

*Clasificación Taxonómica del Tamarindo*

Nombre Científico	Tamarindus indica L.
Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Sub- División	Spermatophitina
Clase	Angiospermae
Sub-Clase	Dicotiledóneas
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae (Fabaceae)
Subfamilia	Caesalpinioideas
Género	Tamarindus
Especie	indica
Nombre Común	Tamarindo

**Nota.** Tomado de *Clasificación Taxonómica del Tamarindo*, por Pérez, 2016, <http://hdl.handle.net/20.500.11799/65363>.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 Definición de Términos

- Adsorción: es un procedimiento que se basa en el desacoplamiento y/o acumulación de sustancias (se lleva a cabo en fases líquido-líquido, gas-líquido, gas-sólido, líquido-sólido); es decir, es una técnica mediante la cual las moléculas, átomos y iones son

contenidos en la superficie, cuando se habla de la problemática de remoción de metales esta hace referencia a la detención de los contaminantes en la superficie (Wankat, 2014).

- Agitación de la Mezcla: es un proceso que permite la repartición uniforme de los reactivos en la fase previa a la formación del coágulo que logra que los líquidos o gases posean movimiento, debido a que la duración de la fase de coagulación es reconocida por ser corta, la mezcla debe llevarse a cabo en un intervalo de tiempo reducido por medio de la agitación mecánica (Castillo, 2013).
- Biosorción: es una técnica cuyo nombre se le denomina al proceso de erradicación de los metales pesados por medio de soluciones líquidas originadas mediante la agrupación pasiva con biomasa no viva (Carro de Diego, 2012).
- Biomasa: hace referencia a la porción de los productos, residuos y/o desechos de fuente orgánica (generalmente provenientes de actividades agrarias, pesqueras, de la agricultura y también de los municipios) que pueden ser sometidos a la biodegradación; asimismo, también se caracteriza por incluir sustancias de origen animal y vegetal (Chávez, 2019).
- Bioadsorción: es una técnica cuyo nombre se le denomina al procedimiento que colabora con la detención activa de iones metálicos surgidos de una gran cantidad de biomásas vivas o muertas (Carro de Diego, 2012).
- Biosorbentes: es un conjunto que hace referencia a los materiales naturales que pueden ser hallados en determinados productos residuales de actividades industriales o agrícolas (ej. cáscaras de semillas, cáscaras de frutas, semillas de frutas, entre otras); además, suelen ser empleados para capturar los agentes contaminantes por el presupuesto mínimo que debe ser utilizado (Vargas, 2020).

- Eficiencia: es definida como la cualidad de obtener los resultados esperados y/o deseados al aplicar o utilizar la cantidad mínima de recursos disponibles (Real Academia Española, s.f.).
- Floculación: es un procedimiento de origen químico mediante el cual se conglomeran los coloides presentes en los efluentes a través de la atracción de partículas que se caracterizan por tener floculantes agrupados, sus ventajas radican en el hecho de que logra facilitar la decantación y filtración, así como su versatilidad para tratar aguas domésticas, industriales y mineras (Caviedes et al., 2015).
- Coagulación: es un proceso el cual consiste en agregar un electrolito; denominado coagulante y que generalmente se caracteriza por ser una sal de hierro o aluminio, al agua para así poder lograr la liberación de iones positivos, recolectar partículas coloidales, remover su carga y/o formar productos con una solubilidad mínima (Caviedes et al., 2015).
- Floculantes: hacen referencia a las sustancias que se emplean para incitar la fase de floculación; en otras palabras, son elementos que se encargan de desequilibrar las partículas coloidales para purificar los efluentes, pueden ser ubicados de acuerdo a la siguiente categoría: catiónicos, aniónicos y sintéticos (Carrillo y Zavala, 2023).
- Inorgánico: son aquellos elementos que se encuentran conformados por distintos elementos (casi por todos aquellos pertenecientes a la tabla periódica), y suelen encontrados en forma de óxidos, bases, sales o ácidos, dentro de sus características más importantes se encuentran la siguientes: predomina una estructura cristalina y crean vínculos iónicos (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).
- Orgánico: son aquellos elementos que se caracterizan por contener carbono y solo forman vínculos covalentes (ya sean carbono-carbono o carbono-hidrogeno);

asimismo, pueden contener compuestos tales como O, N, S,P, B, entre otros (Universidad Nacional Autónoma de México, s.f.).

- Metal Pesado: son tipos de metales cuyo volumen excede en al menos cinco veces a la densidad de los efluentes y que generalmente suelen ser encontrados en bases mineras, dentro de sus características están el hecho de que no pueden ser sometidas a la biodegradación, se pueden emplear para crear productos de uso cotidiano y su concentración en exceso puede ser dañina (Gobierno de Argentina, s.f.).
- Toxicidad: hace referencia al grado en el cual una sustancia considerada tóxica, dañina o perjudicial se encuentra presente (Real Academia Española, s.f., definición 1).
- Tratamiento: abarca una gran cantidad de procedimientos, técnicas o metodologías que son diseñadas y empleadas para lograr la erradicación de la emisión o presencia de elementos sólidos y/o contaminantes de los cuerpos de agua (Lee, 2005).

### **2.3 Marco Legal Ambiental**

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* En este capítulo se engloban las siguientes consideraciones para con el Estado peruano: existe una necesidad de una política ambiental que debe ser promovida para poder así fomentar la utilización sostenible de recursos, se encuentra la responsabilidad de conservar y proteger la diversidad biológica y áreas naturales, y, con relación a la Amazonía, se debe hacer un seguimiento para lograr el desarrollo sostenible de la misma.
- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991;* En el título XIII sobre delitos ambientales, estos son separados en los siguientes capítulos: I. Delitos de contaminación (incluye los artículos a continuación: formas agravadas, incumplimiento de la normativa de residuos sólidos, tráfico ilegal de residuos altamente peligrosos y delito de minería ilegal), II. Delitos contra los recursos naturales (tráfico ilegal de

especies acuáticas, de la fauna y de la flora, extracción ilegal de especies acuáticas, de la fauna y de la flora, entre otras), III. Responsabilidad funcional e información básica y IV. Medidas cautelares y exclusión o reducción de penas.

- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611*. En esta se incluyen cuestiones con relación al derecho establecido en la constitución acerca de cómo todos los peruanos tienen derecho a gozar de un entorno limpio y saludable que les permita desarrollarse de manera óptima, al acceso de la información sobre el estado ambiental y a la participación libre y activa con relación a las problemáticas ambientales. Además, incluye principios relacionados a la sostenibilidad, prevención, precautorio, internalización de costos, responsabilidad ambiental, equidad y gobernanza ambiental.
- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009*. El objetivo que se tuvo al formular esta ley fue lograr la regulación de la utilización y de la gestión integradas del agua por medio de las entidades estatales y particulares. En ese sentido se plantean principios relacionados a lo siguiente: valoración del agua, participación en la cultura del agua, seguridad jurídica, entre otros. A esto se le añade que comparte cuestiones relacionadas a la necesidad de nuevas normas, planes nacionales, compendios y establecimiento de responsabilidades específicas y geográficas de ciertas instituciones y/o autoridades.
- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 – AG*. Esta se establece con el fin de dar seguimiento al cumplimiento de la ley de recursos hídricos, por lo cual, decreta la formación del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca, la Autoridad Nacional del Agua, los objetivos que todas estas entidades deben tratar de alcanzar, las autoridades que deben ser parte íntegra de los mismos y los roles que estas deben de tener.
- *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental*

*(ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Recopila las cuestiones promovidas a través de los siguientes Decretos Supremos: N°002-2008-MINAM, N°023-2009-MINAM y N°015-2015-MINAM, ello con la finalidad de poder cambiar o suprimir determinados valores, indicadores, clasificaciones o subclasificaciones de los ECA, así como también reafirmar algunos que se mantienen.

- Es así Como, las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

Categoría 1: Poblacional y Recreacional, aquellas que pueden ser potabilizadas con desinfección, tratamiento convencional, y tratamiento avanzado, así como para contacto primario y contacto secundario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, en referencia a ríos, lagunas y lagos, así como ecosistemas marinos y costeros.

- *Decreto Supremo N° 003-2002-PTODUCE. Aprueban Límite Máximo Permisible de Efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y Curtiembre.* Aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Referenciales aplicables por la autoridad competente, a las actividades industriales manufactureras de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Siendo así los LMP para efluentes de alcantarillado, efluentes de aguas superficiales, para emisiones de los hornos, así como para actividades que se encuentran en proceso o acaban de iniciar.

### III MÉTODO

#### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación según el objetivo que se persigue es de tipo aplicada, por que busca generar nuevos conocimientos de tal manera que puedan ser aplicados en la vida real para resolver un problema, para nuestro planteamiento se pretende encontrar la dosis óptima de dos floculantes naturales para remover ciertas concentraciones ya conocidas de Cadmio hasta alcanzar una máxima eficiencia, dependiendo de las dosis de los floculantes utilizados, el cual será desarrollado en un sistema controlado donde la muestra será preparada a nivel de laboratorio. El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es experimental, y debido a su grado de manipulación de las variables se clasifica dentro de los experimentales puros, puesto que se manipula intencionalmente la variable independiente (Biosorción de la cascara de cocona *solanum sessiliflorum* y tamarindo *tamarindus indica*) las veces que sea necesario, con la finalidad de observar el comportamiento de la variable dependiente (Remoción de Cadmio) ante dichas manipulaciones intencionales y controladas.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

El actual trabajo de investigación de diseño experimental fue desarrollado durante los meses comprendidos entre enero y octubre del año 2020; utilizando información comprendida entre los años 2012 al 2019. Los ensayos experimentales fueron desarrollados en los meses de febrero y mediados de marzo, mientras que la búsqueda de información se inició en el mes de enero hasta agosto del 2020. De acuerdo a la proyección del investigador el trabajo final se planteó terminarlo en octubre del 2020.

Debido a que el trabajo de investigación no ameritaba la toma de muestras en campo, por ser un trabajo de investigación puro, el ámbito espacial se circunscribió únicamente al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. Las muestras fueron preparadas en el mismo laboratorio

bajo condiciones controladas por el investigador, cuyo resultado de dicha elaboración fueron las muestras sintéticas, que a la postre sería la base principal para realizar todas las pruebas o ensayos experimentales. La ubicación del lugar de estudio presentó las coordenadas siguientes: UTM 277097 E y 8 667 468 N.

### **3.3 Variables**

#### **3.3.1 *Variable Independiente***

- Biosorción de la cascara de Cocona *solanum sessiliflorum* y Tamarindo *tamarindus indica*.

#### **3.3.2 *Variable Dependiente***

- Remoción de Cadmio.

**Tabla 3***Operacionalización de variables de investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b> Biosorción de la cascara de Cocona Solanum Sessiliflorum y Tamarindo Tamarindus Indica.	Proceso de eliminación de solutos (i.e. metales pesados, compuestos orgánicos, etc.) de soluciones acuosas, mediante la adhesión pasiva a biomasa inerte. El proceso de biosorción tiene como característica principal la retención del metal en la superficie celular del biosorbente. (Dávila, 2012)	Para realizar la bioadsorción existen factores que permiten desarrollar este proceso, estos factores son: parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio.	FLOCULANTE 1	Concentración (g/l)
				Dosis (ml)
				Velocidad de Agitación (rpm)
				Tiempo (min)
			FLOCULANTE 2	Concentración (g/l)
				Dosis (ml)
				Velocidad de Agitación (rpm)
				Tiempo (min)
<b>Variable Dependiente</b> Remoción de Cadmio	Existen varios métodos para llevar a cabo la erradicación de metales pesados de efluentes, algunos de ellos son: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Usualmente son utilizados cuando se necesita hacer una remoción de concentraciones altas de metales pesados (Kuyucak, 1990).	Los metales pesados están en las aguas contaminadas, resultado de actividades industriales y, por el nivel de toxicidad que presentan existe la necesidad de disminuir sus concentraciones a niveles mínimos, hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino removerse.	PARAMETRO INORGANICO	Concentración Inicial Cd (mg/l)
				Concentración Inicial Cd (mg/l)
				Eficiencia (%)

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

Es así como la población del presente estudio correspondió a las muestras sintéticas que se prepararán en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV, dichas muestras elaboradas tendrán diferentes concentraciones de Cadmio y corresponden a un volumen total de tratamiento de 90 litros.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra para nuestro caso y por tratarse de una investigación experimental pura, es la misma que corresponde a la población, siendo un total de 90 litros. La unidad mínima de volumen a trabajar es de 1 litro por muestra, en esta, cada corrida o ensayo fue de 5 litros, el cual incluyó dos repeticiones, que, consecuentemente, produjo un total de 15 litros por tratamiento. De igual forma como se desarrolló el primer tratamiento se llevó a cabo cinco tratamientos adicionales correspondientes a 75 litros de muestra, haciendo un total de 90 litros, como se había mencionado al inicio.

### **3.5 Instrumentos**

#### **3.5.1 Técnicas**

- Plano catastral de Manual de laboratorio.
- Prueba de Jar Test.

#### **3.5.2 Instrumentos**

- Fichas de recolección de datos.
- Métodos Estandarizados para análisis de aguas residuales APHA.
- Fichas textuales, estadísticas, entre otros.

### 3.5.3 Fuentes

- Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.
- El propio investigador se encargó de realizar los ensayos de laboratorio.

## 3.6 Procedimientos

El procedimiento por el cual se decidió optar para reunir, analizar y organizar los hallazgos encontrados en la presente investigación tuvo en consideración cuatro fases esenciales: 1. Preparación, 2. Preparación de floculantes y muestras, 3. Ensayos de Jar Test, 4. Determinación de Cadmio y 5. Análisis final.

### 3.6.1 Preparación de Floculantes y Muestras

La locación en la cual fue llevada a cabo esta primera etapa fue en el Laboratorio de la UNFV. En primer lugar, se recolectaron cáscaras de Cocona y Tamarindo para que estas pudiesen servir como origen de la elaboración de floculantes orgánicos, para ello se realizó una ablución general de las mismas con agua potable, para luego llevar a cabo el mismo proceso con agua destilada. Luego, se efectuó el secado de las cáscaras en una estufa, cabe resaltar que la temperatura de esta varió entre 75-80°C con una exposición de 25 horas.

Después de que se comprobó que las cáscaras estuvieran completamente secas, estas fueron trituradas hasta que su consistencia fuera de grano fino mediante un mortero. Seguido a ello, se procedió a realizar un tamizado final con el tamiz N°80, cabe resaltar que las dosis que se emplearon para los ensayos de floculación fueron los siguientes: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 g.

Finalmente, las muestras sintéticas fueron preparadas y acondicionadas mediante un soluto de Nitrato de Cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , el cual desempeñó un papel principal para la creación de una solución estándar de Cadmio de 1000 ppm a través de un medio ácido al 5% con  $\text{HNO}_3$ . Asimismo, las muestras con las cuales se llevaron a cabo los ensayos de floculación fueron dispuestas a partir del patrón de Cadmio cuyas concentraciones fueron las siguientes: 1.0, 1.5 y 2.0 ppm para un volumen de 1 litro cada uno.

### **3.6.2 *Determinación de Cadmio***

Para esta tercera etapa, primero se esperó que la duración de sedimentación determinado para cada ensayo, que fue realizado en 30 minutos aproximadamente, culminase para así poder llevar a cabo la filtración de la muestra sobrenadante. Luego de ello se recolectó una muestra de 100 ml con la finalidad de realizar la determinación de Cadmio, para ello previamente se realizaron tres procesos: 1. Primero, la muestra fue digerida con ácido nítrico al 5% en la plancha de calentamiento, 2. Después fue aforada a 100 ml con agua destilada y 3. Finalmente la muestra fue conducida a interpretación en el espectrofotómetro de absorción atómica. Aquí es importante mencionar que, previo a realizar la interpretación en instrumento de Absorción atómica, se indujo a la elaboración de la curva de calibrado con un patrón de Cadmio de 50 mg/l y estándares de 0.0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg/l.

### **3.6.3 *Análisis Final***

Finalmente, al terminar la determinación de Cadmio con el instrumento de Absorción Atómica, se decidió necesario evaluar los hallazgos finales provistos por las pruebas de jarras para así poder analizar cuáles fueron las dosis ideales conforme a los ensayos realizados en base a cada cual de las concentraciones iniciales y finales. De igual manera, se valoraron las eficiencias conseguidas mediante los dosajes del floculante aplicado independientemente a las muestras para concluir con la creación de tablas y gráficos respectivos con la finalidad de poder observar el comportamiento de cada dosis óptima consignada. Para concluir esta etapa, es importante mencionar que, con los hallazgos finales obtenidos y evaluados analíticamente se lograron obtener las conclusiones de la presente investigación.

### **3.7 Análisis de datos**

Para desarrollar la evaluación de la información numérica encontrada, se tomaron en consideración las nivelaciones de medición de las variables para poder aplicar las fórmulas estadísticas que proporcionaron la descripción de las características principales de las variables dependientes e independientes, las cuales fueron recopiladas de manera individual. Siguiendo esta línea, y, para lograr el objetivo mencionado anteriormente, se elaboró un análisis y descripción de las variables presentadas. Por ello, se empleó el programa Microsoft Excel 2010 con el fin de introducir el cálculo descriptivo, tablas y gráficos, así como para exponer la repartición de los datos, la cual se realizó mediante gráficos lineales. Finalmente, hay que mencionar que todo este proceso se llevó a cabo con el objetivo de indagar sobre cuáles serían las dosis ideales y determinar las eficiencias en la biosorción de Cadmio mediante los floculantes naturales por medio de la contrastación de las hipótesis.

## IV RESULTADOS

### 4.1 Dosis óptima de Cocona para la remoción de Cadmio

A continuación, se reflejan los hallazgos obtenidos en la erradicación de Cadmio utilizando como floculante la cáscara de Cocona. A fin de encontrar la dosis óptima en la erradicación de Cadmio se procedió a trabajar con tres concentraciones diferentes de 1.0, 1.5 y 2.0 mg/l.

#### 4.1.1 *Tratamiento con cocona*

##### 4.1.1.1 Primer tratamiento con Cocona

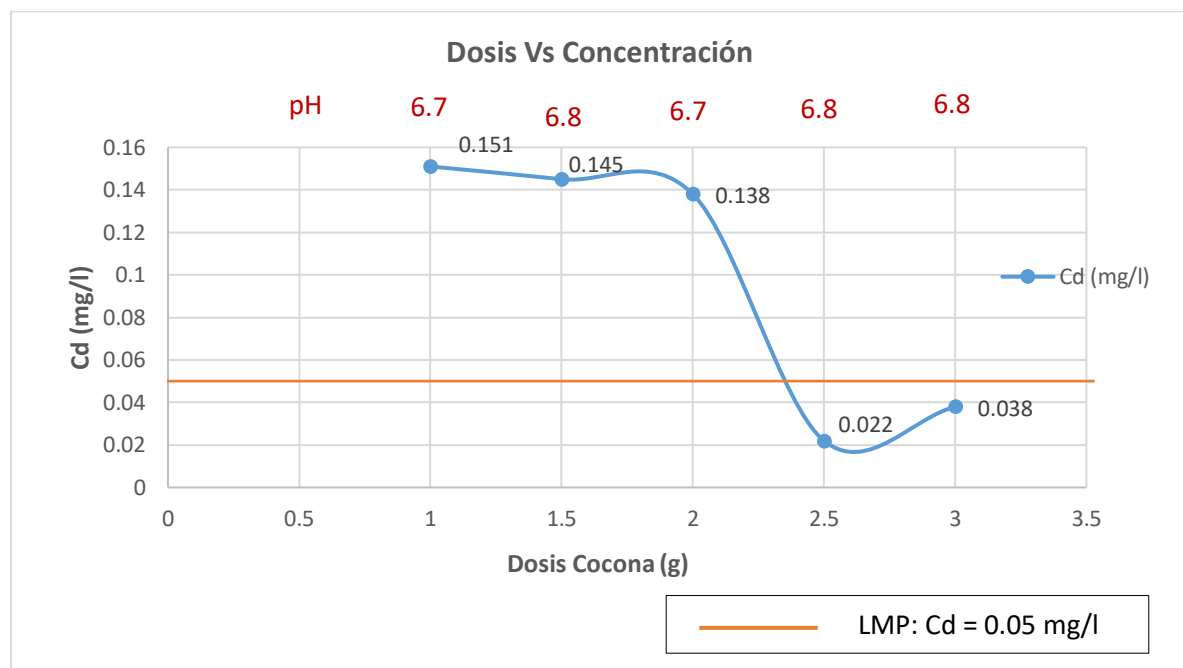
En la Tabla 5, se muestran los resultados del primer tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Cocona, el cual se inició con una concentración de 1.0 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación iniciales fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.3, y
- Concentración inicial de Cd igual a 1.0 mg/l.

**Tabla 4***Resultados de Cadmio Vs Cocona: 1.0 mg Cd/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	1.0				
<b>pH</b>	6.7	6.8	6.7	6.8	6.8
[ ] Final (mg/l)	0.151	0.145	0.138	0.021	0.037
Repeticiones					
Repetición 1	0.150	0.145	0.138	0.022	0.038
Repetición 2	0.152	0.146	0.137	0.023	0.038
<b>[ ] Promedio</b>	<b>0.151</b>	<b>0.145</b>	<b>0.138</b>	<b>0.022</b>	<b>0.038</b>

**Figura 2***Comportamiento de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 1.0 mg Cd/l*

De la **Figura 1**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 1.0 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con dos valores de 0.022 y 0.038 mg Cd/l, los cuales fueron trabajados con las dosis de 2.5 y 3.0 gramos respectivamente, llegando a alcanzar los LPM establecido en 0.05 mg/l. De igual manera se puede observar que para este primer tratamiento las dosis de 1.0, 1.5 y 2.0 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.151, 0.145 y 0.138 mg/l respectivamente, sin embargo, dichas concentraciones no alcanzan los LMP establecidos en la norma.

#### **4.1.1.2 Segundo tratamiento con Cocona**

En la Tabla 6, se reflejan los resultados del segundo tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Cocona, el cual se inició con una concentración de 1.5 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación inicial fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.3, y
- Concentración inicial de Cd igual a 1.5 mg/l.

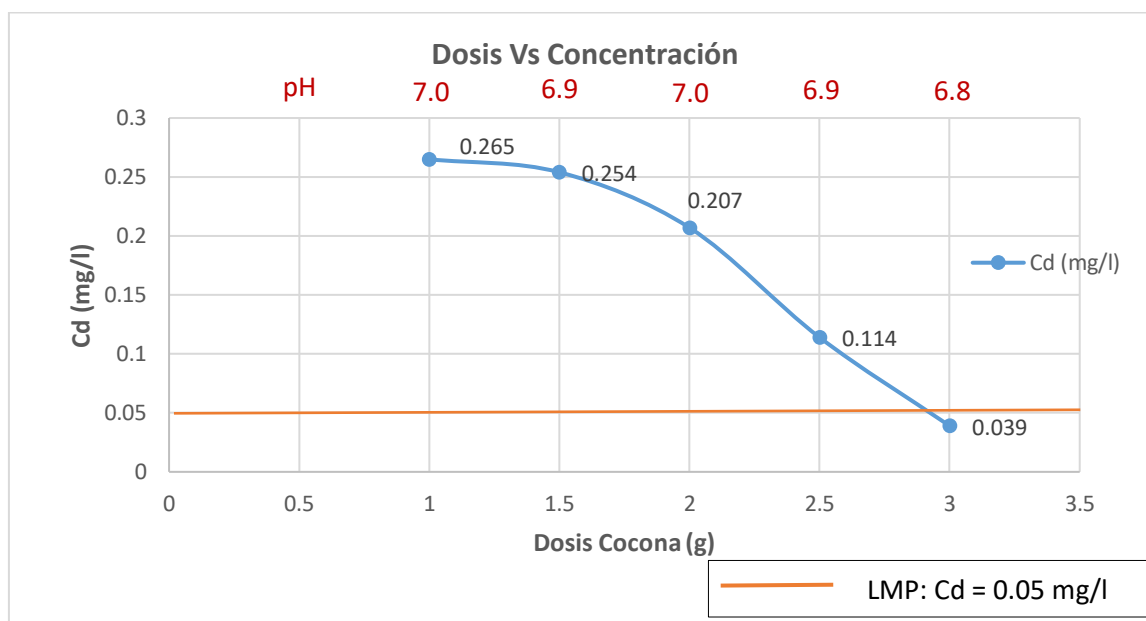
**Tabla 5**

*Resultados del segundo ensayo: Cadmio Vs Cocona: 1.5 mg/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	1.5				
<b>pH</b>	6.5	6.9	7.0	6.9	6.8
[ ] Final (mg/l)	0.265	0.254	0.206	0.114	0.039
<b>Repeticiones</b>					
Repetición 1	0.265	0.254	0.207	0.115	0.038
Repetición 2	0.264	0.255	0.207	0.114	0.039
[ ] <b>Promedio</b>	<b>0.264</b>	<b>0.254</b>	<b>0.207</b>	<b>0.114</b>	<b>0.039</b>

**Figura 3**

*Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 1.5 mg/l*



De la **Figura 5**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 1.5 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con un valor de 0.039 mg Cd/l, el cual fue trabajado con la dosis de 3.0 gramos, llegando a alcanzar el Límites Máximo Permisible establecido en 0.05 mg/l. De igual manera se puede observar que para este segundo tratamiento las dosis de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.265, 0.254, 0.207 y 0.114 mg/l respectivamente, sin embargo, dichas concentraciones no alcanzan los LMP establecidos en la norma.

#### **4.1.1.3 Tercer tratamiento con Cocona**

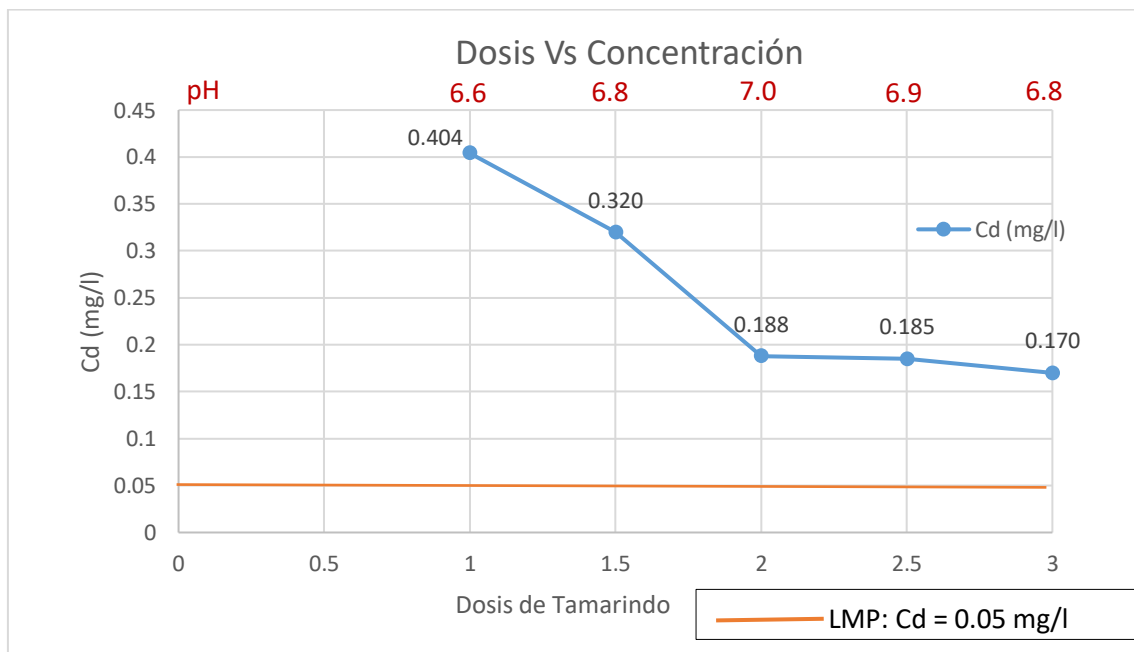
En la Tabla 7, se reflejan los resultados del tercer tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Tamarindo, el cual se inició con una concentración de 2.0 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación inicial fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.3, y
- Concentración inicial de Cd igual a 2.0 mg/l.

**Tabla 6***Resultados del tercer ensayo: Cadmio Vs Cocona: 2.0 mg/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	2.0				
<b>pH</b>	6.6	6.8	7.0	6.9	6.8
[ ] Final (mg/l)	0.403	0.320	0.188	0.185	0.170
<b>Repeticiones</b>					
Repetición 1	0.404	0.321	0.188	0.184	0.171
Repetición 2	0.404	0.320	0.187	0.185	0.170
[ ] <b>Promedio</b>	<b>0.404</b>	<b>0.320</b>	<b>0.188</b>	<b>0.185</b>	<b>0.170</b>

**Figura 4***Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Cocona: 2.0 mg/l*

De la **Figura 3**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 2.0 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con un valor mínimo de 0.170 mg Cd/l, el cual fue trabajado con la dosis de 3.0 gramos, así mismo, se puede observar también que para este tercer tratamiento las otras dosis de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.404, 0.320, 0.188 y 0.185 mg/l respectivamente, sin embargo, ninguna de las cinco concentraciones alcanzaron los LMP establecidos en la norma.

## **4.2 Dosis óptima de Tamarindo para la remoción de Cadmio**

A continuación, se reflejan los resultados encontrados en la erradicación de Cadmio utilizando como floculante la cáscara de Tamarindo. A fin de encontrar la dosis óptima en la erradicación de Cadmio se procedió a trabajar con tres concentraciones diferentes de 1.0, 1.5 y 2.0 mg/l.

### **4.2.1 Tratamiento con Tamarindo:**

#### **4.2.1.1 Primer tratamiento con Tamarindo**

En la Tabla 8, se reflejan los hallazgos del primer tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Tamarindo, el cual se inició con una concentración de 1.0 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación iniciales fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.2, y
- Concentración inicial de Cd igual a 1.0 mg/l.

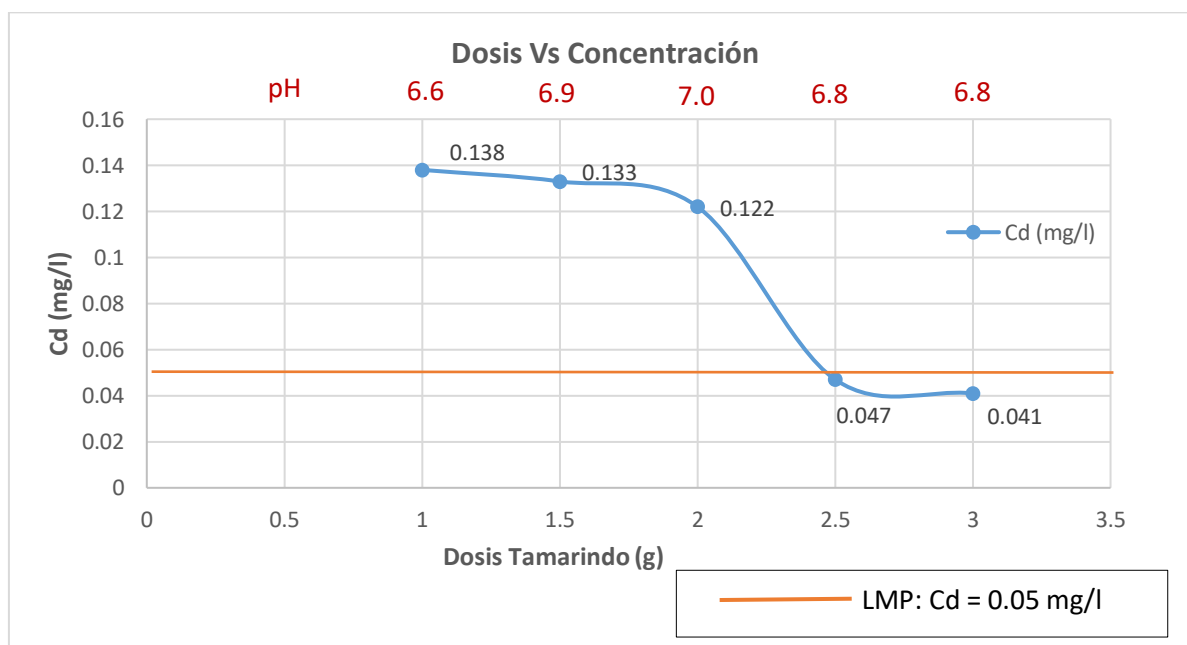
**Tabla 7**

*Resultados del primer ensayo: Cadmio Vs Tamarindo: 1.0 mg/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	1.0				
<b>pH</b>	6.6	6.9	7.0	6.8	6.8
[ ] Final (mg/l)	0.138	0.133	0.121	0.047	0.040
<b>Repeticiones</b>					
Repetición 1	0.137	0.134	0.122	0.048	0.041
Repetición 2	0.138	0.133	0.122	0.047	0.041
[ ] <b>Promedio</b>	<b>0.138</b>	<b>0.133</b>	<b>0.122</b>	<b>0.047</b>	<b>0.041</b>

**Figura 5**

*Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Tamarindo: 1.0 mg/l*



De la **Figura 4**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 1.0 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con dos valores de 0.047 y 0.041 mg Cd/l, los cuales fueron trabajados con las dosis de 2.5 y 3.0 gramos respectivamente, llegando a alcanzar los LPM establecidos en 0.05 mg/l. De igual manera se puede observar que para este primer tratamiento las dosis de 1.0, 1.5 y 2.0 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.138, 0.133 y 0.122 mg/l respectivamente, sin embargo, dichas concentraciones no alcanzan los LMP establecidos en la norma.

#### **4.2.1.2 Segundo tratamiento con Tamarindo**

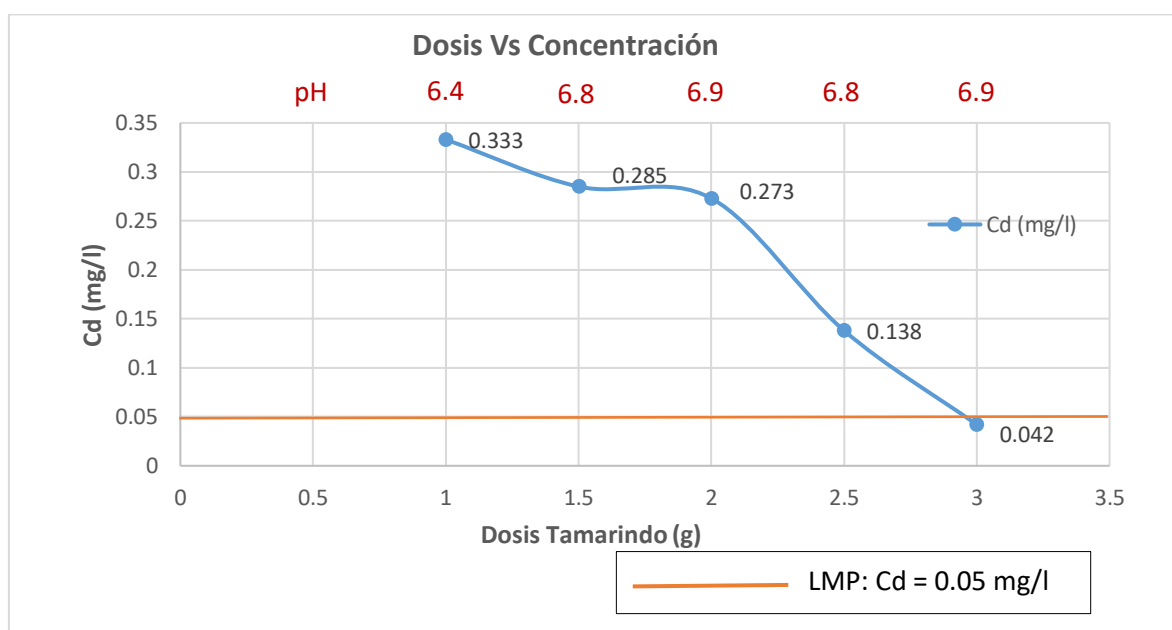
En la Tabla 9, se muestran los resultados del segundo tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Tamarindo, el cual se inició con una concentración de 1.5 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación inicial fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.2, y
- Concentración inicial de Cd igual a 1.5 mg/l.

**Tabla 8***Resultados del segundo ensayo: Cadmio Vs Tamarindo: 1.5 mg/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	1.5				
<b>pH</b>	6.4	6.8	6.9	6.8	6.9
[ ] Final (mg/l)	0.333	0.285	0.273	0.138	0.041
<b>Repeticiones</b>					
Repetición 1	0.334	0.286	0.274	0.139	0.043
Repetición 2	0.333	0.285	0.273	0.138	0.042
[ ] <b>Promedio</b>	<b>0.333</b>	<b>0.285</b>	<b>0.273</b>	<b>0.138</b>	<b>0.042</b>

**Figura 6***Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Tamarindo: 1.5 mg/l*

De la **Figura 5**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 1.5 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con un valor de 0.042 mg Cd/l, el cual fue trabajado con la dosis de 3.0 gramos, llegando a alcanzar el Límites Máximo Permisible establecido en 0.05 mg/l. De igual manera se puede observar que para este segundo tratamiento las dosis de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.333, 0.285, 0.273 y 0.138 mg/l respectivamente, sin embargo, dichas concentraciones no alcanzan los LMP establecidos en la norma.

#### **4.2.1.3 Tercer tratamiento de Tamarindo**

En la Tabla 10, se reflejan los resultados del tercer tratamiento para la remoción de Cadmio con floculante de Tamarindo, el cual se inició con una concentración de 2.0 mg Cd/l y sometido a 5 dosis diferentes como ya se indicó anteriormente.

De los 3 resultados encontrados se trabajó y graficó en relación al promedio. Las variables de operación inicial fueron las siguientes:

- Volumen de trabajo de 1L por muestra
- pH inicial de 6.2, y
- Concentración inicial de Cd igual a 2.0 mg/l.

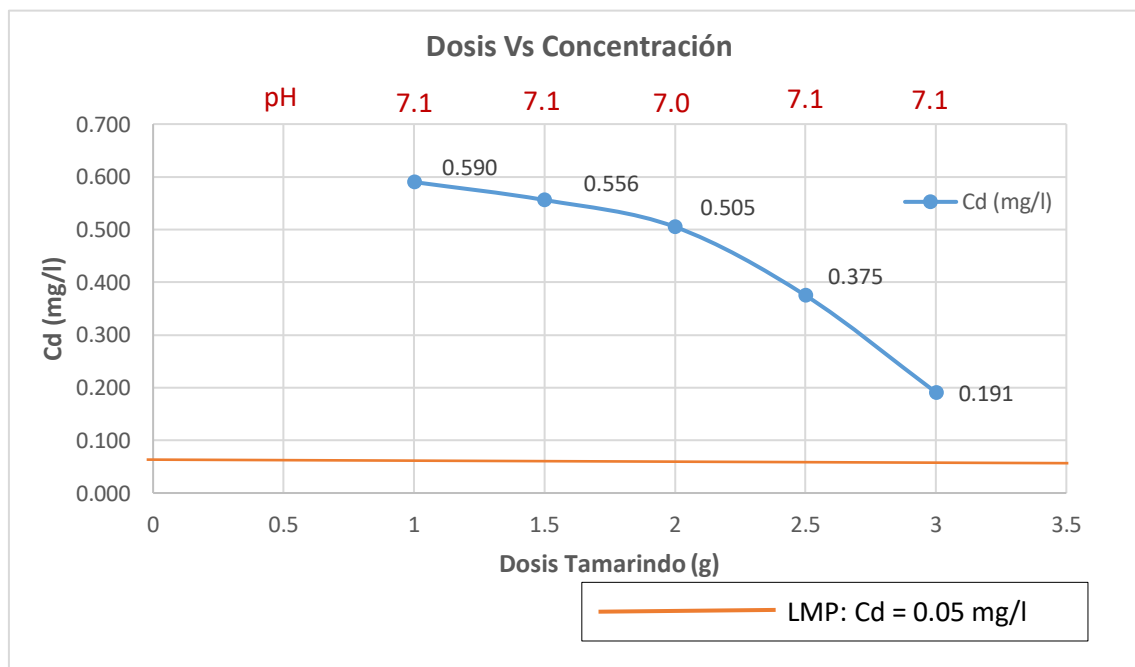
**Tabla 10**

*Resultados del tercer ensayo: Cadmio Vs Tamarindo: 2.0 mg/l*

<b>Tratamientos</b>					
<b>Dosis (g)</b>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Inicial (mg/l)	2.0				
<b>pH</b>	7.1	7.1	7.0	7.1	7.1
[ ] Final (mg/l)	0.590	0.556	0.505	0.375	0.191
<b>Repeticiones</b>					
Repetición 1	0.591	0.555	0.506	0.374	0.190
Repetición 2	0.590	0.556	0.505	0.375	0.191
[ ] <b>Promedio</b>	<b>0.590</b>	<b>0.556</b>	<b>0.505</b>	<b>0.375</b>	<b>0.191</b>

**Figura 6**

*Concentración de Cadmio Vs. Dosis de Tamarindo: 2.0 mg/l*



De la **Figura 6**, se aprecia que al iniciar el tratamiento con una concentración de 2.0 mg Cd/l los niveles van bajando considerablemente hasta finalizar con un valor mínimo de 0.191 mg Cd/l, el cual fue trabajado con la dosis de 3.0 gramos, así mismo, se puede observar también que para este tercer tratamiento las otras dosis de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 gramos remueven los niveles de Cadmio hasta valores finales de 0.590, 0.556, 0.505 y 0.375 mg/l respectivamente, sin embargo, ninguna de las cinco concentraciones alcanzan los LMP establecidos en la norma.

### 4.3 Eficiencias finales con Cocona

A continuación, se reflejan los hallazgos de las eficiencias obtenidas conforme a los tres tratamientos realizados con diferentes dosis de Cocona:

#### 4.3.1 *Tratamiento 1 con cocona.*

A continuación, en la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en la primera corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 1.0 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 84.9, 85.5, 86.2, 97.8 y 96.2%.

**Tabla 11**

*Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Cocona (1.0 mg Cd/l)*

	<b>Tratamientos</b>				
[ ] Inicial (mg/l)	<b>1.0</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.151	0.145	0.138	0.022	0.038
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>84.9</b>	<b>85.5</b>	<b>86.2</b>	<b>97.8</b>	<b>96.2</b>

### 4.3.2 *Tratamiento 2 con cocona*

A continuación, en la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la segunda corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 1.0 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 82.4, 83.1, 86.2, 92.4 y 97.4%.

**Tabla 12**

*Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Cocona (1.5 mg Cd/l)*

<b>Tratamientos</b>					
[ ] Inicial (mg/l)	<b>1.5</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.264	0.254	0.207	0.114	0.039
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>82.4</b>	<b>83.1</b>	<b>86.2</b>	<b>92.4</b>	<b>97.4</b>

### 4.3.3 *Tratamiento 3 con cocona*

A continuación, en la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos en la tercera corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 2.0 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 79.8, 84.0, 90.6, 90.8 y 91.5%.

**Tabla 13***Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Cocona (2.0 mg Cd/l)*

<b>Tratamientos</b>					
[ ] Inicial (mg/l)	<b>2.0</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.404	0.320	0.188	0.185	0.170
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>79.8</b>	<b>84.0</b>	<b>90.6</b>	<b>90.8</b>	<b>91.5</b>

**4.4 Eficiencias finales con Tamarindo**

A continuación, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas en los tres tratamientos realizados con diferentes dosis de Tamarindo:

**4.4.1 Tratamiento 1 con tamarindo**

A continuación, en la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en la primera corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 1.0 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 86.2, 86.7, 87.8, 95.3 y 95.9%.

**Tabla 14***Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Tamarindo (1.0 mg Cd/l)*

<b>Tratamientos</b>					
[ ] Inicial (mg/l)	<b>1.0</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.138	0.133	0.122	0.047	0.041
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>86.2</b>	<b>86.7</b>	<b>87.8</b>	<b>95.3</b>	<b>95.9</b>

#### 4.4.2 *Tratamiento 2 con tamarindo*

A continuación, en la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos en la segunda corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 1.5 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 77.8, 81.0, 81.8, 90.8 y 97.2%.

**Tabla 15**

*Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Tamarindo (1.5 mg Cd/l)*

<b>Tratamientos</b>					
[ ] Inicial (mg/l)	<b>1.5</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.333	0.285	0.273	0.138	0.042
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>77.8</b>	<b>81.0</b>	<b>81.8</b>	<b>90.8</b>	<b>97.2</b>

#### 4.4.3 *Tratamiento 3 con tamarindo*

A continuación, en la Tabla 16 se muestran los resultados obtenidos en la tercera corrida experimental, el cual se inició con una concentración de 2.0 mg/l y terminado el tratamiento con las cinco dosis respectivas se obtuvo eficiencias finales promedio de 70.5, 72.2, 74.8, 81.3 y 90.5%.

**Tabla 16***Resultado de Eficiencias: Cadmio Vs Tamarindo (2.0 mg Cd/l)*

<b>Tratamientos</b>					
[ ] Inicial (mg/l)	<b>2.0</b>				
Dosificación (g)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
[ ] Final (mg/l)	0.590	0.556	0.505	0.375	0.191
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>70.5</b>	<b>72.2</b>	<b>74.8</b>	<b>81.3</b>	<b>90.5</b>

#### 4.5 Análisis Estadístico

##### 4.5.1 *Caracterizando la muestra en su análisis inicial*

Para poder tener base de muestra se contamina agua en laboratorio superando las concentraciones de 0.003 mg/l y pH 4.5, como base inicial de las muestras.

##### 4.5.2 *Análisis Estadístico Descriptivo Comparativo*

Se aplica la remoción de cadmio con la utilización de floculante Natural en base a Cocona y Tamarindo, para así lograr determinar la dosis óptima y la eficiencia de erradicación de estos, presentando:

#### 4.5.2.1 Tratamiento con Cocona (Dosis óptima)

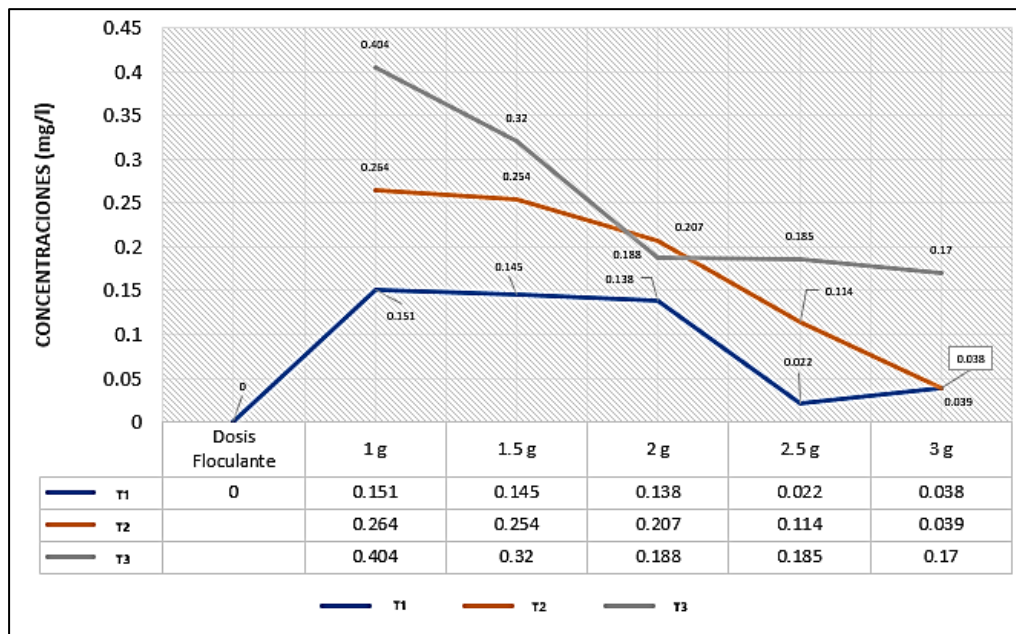
**Tabla 9**

*Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Cocona*

Dosis Floculante	Cocona Cd (mg/l)		
1 g	0.151	0.264	0.404
1.5 g	0.145	0.254	0.32
2 g	0.138	0.207	0.188
2.5 g	0.022	0.114	0.185
3 g	0.038	0.039	0.17

**Figura 7**

*Distribución de remoción, Cocona: Dosis Vs Concentración*



Según el análisis realizado se observa que la dosis de bioadsorbente a base de cocona se visualiza que las dosis optima de remoción cadmio es de 0.038 con concentración de bioadsorbente de 3.0g.

#### 4.5.2.2 Tratamiento con Tamarindo (Dosis óptima)

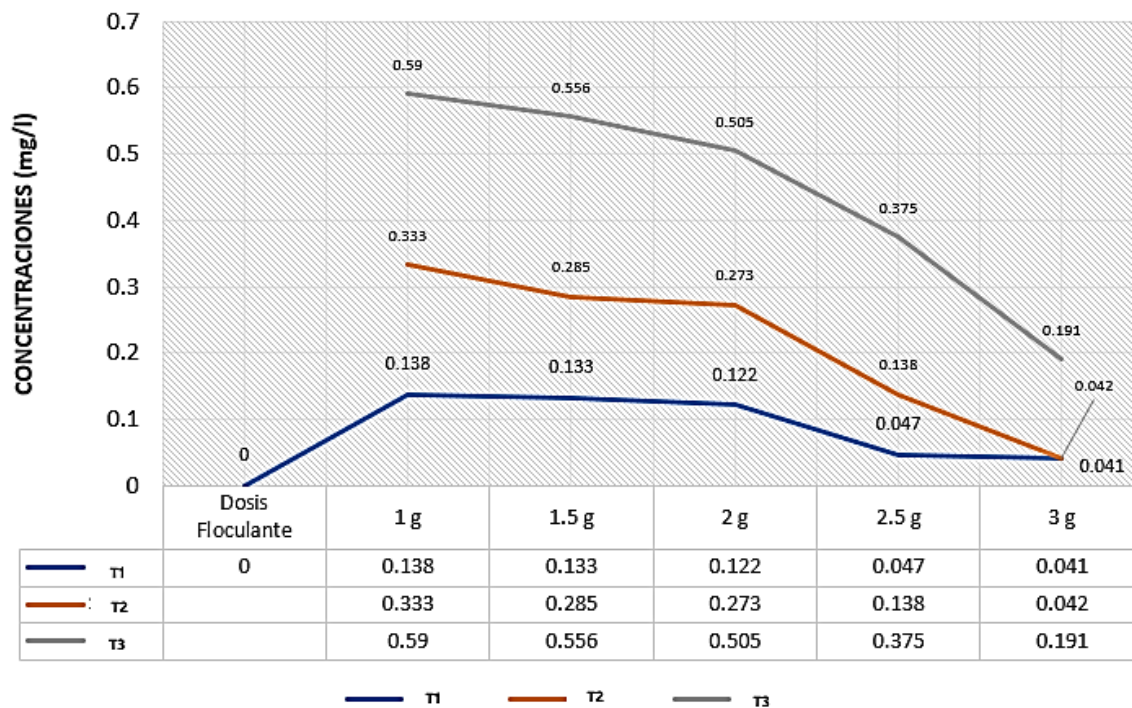
**Tabla 10**

*Análisis Estadístico Descriptivo del Tratamiento de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Tamarindo*

<b>Dosis Floculante</b>	<b>Tamarindo Cd (mg/l)</b>		
1 g	0.138	0.333	0.59
1.5 g	0.133	0.285	0.556
2 g	0.122	0.273	0.505
2.5 g	0.047	0.138	0.375
3 g	0.041	0.042	0.191

**Figura 8**

*Distribución de remoción, Tamarindo: Dosis Vs Concentración*



Según el análisis realizado se observa que la dosis de bioadsorbente a base de tamarindo se visualiza que las dosis optima de remoción cadmio es de 0.041 con concentración de bioadsorbente de 3g.

### 4.5.2.3 Eficiencia de Tratamiento

#### A. Eficiencia del tratamiento con cocona

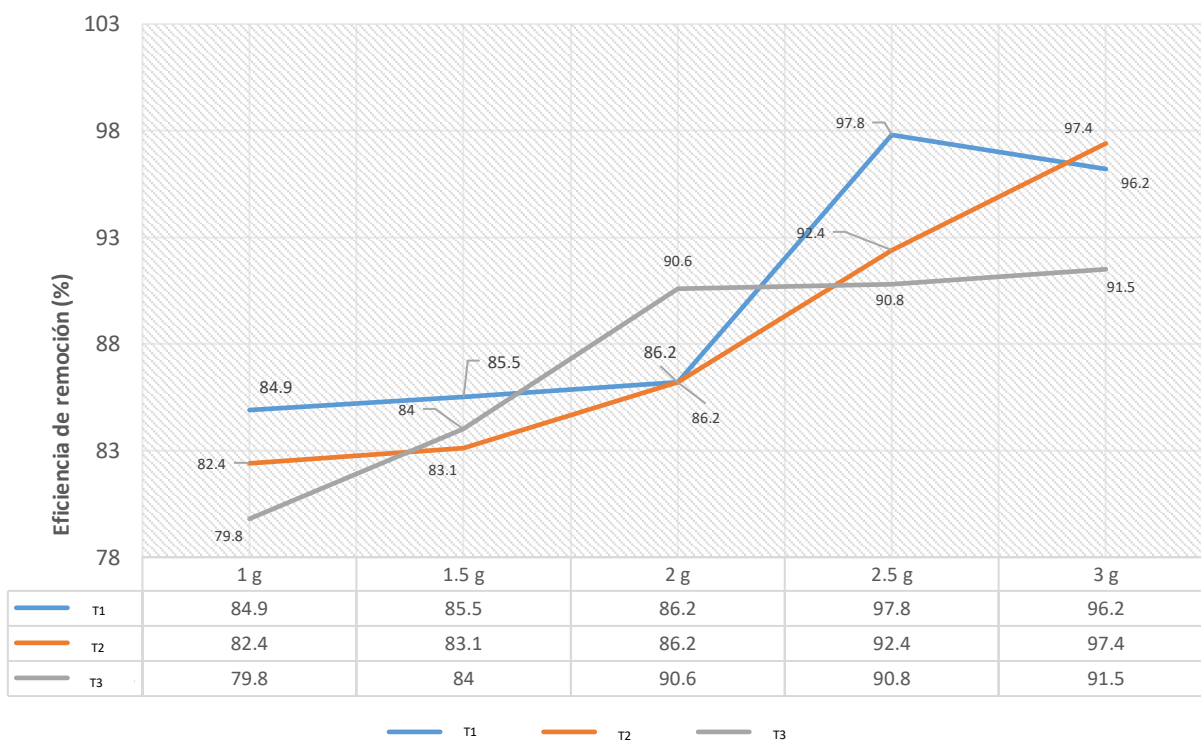
**Tabla 19**

*Análisis Estadístico Descriptivo de la eficiencia de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Cocona*

Dosis Floculante	Cocona Eficiencia (%)		
1 g	84.9	82.4	79.8
1.5 g	85.5	83.1	84
2 g	86.2	86.2	90.6
2.5 g	97.8	92.4	90.8
3 g	96.2	97.4	91.5

**Figura 9**

*Distribución de la eficiencia, Cocona: Dosis Vs Eficiencia*



Según el análisis realizado se observa que la eficiencia del bioadsorbente a base de cocona es de 97.8% de remoción cadmio es a una concentración de bioadsorbente de 2.5g

### B. Eficiencia del tratamiento con tamarindo

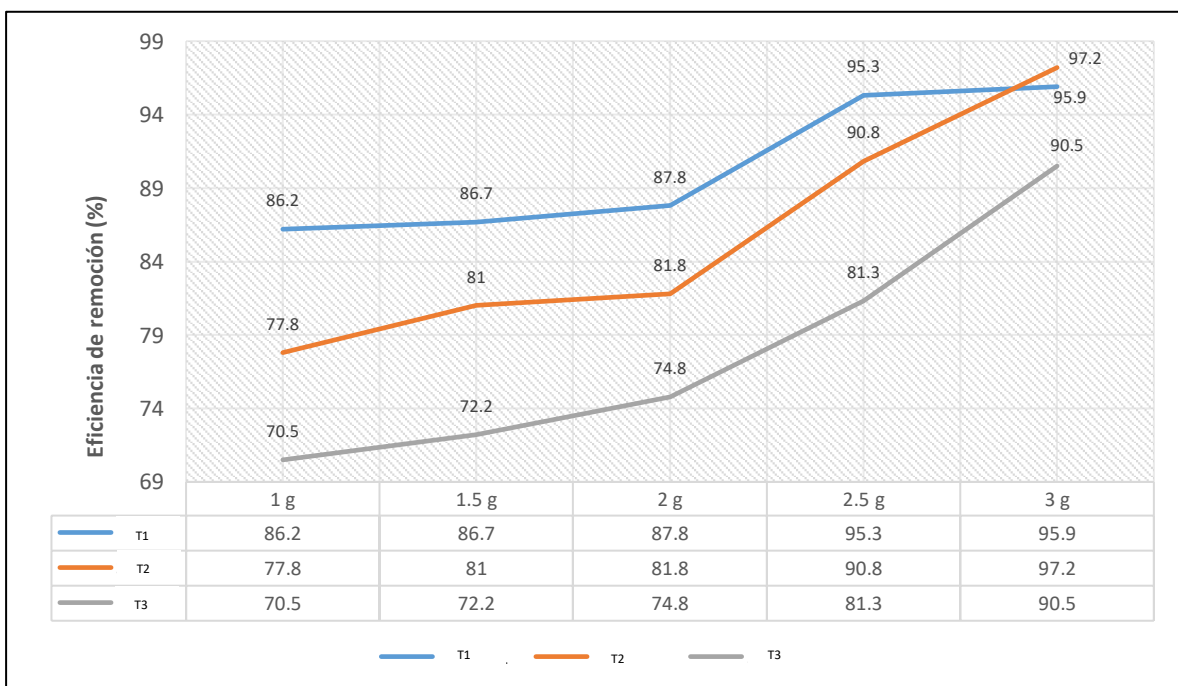
**Tabla 20**

*Estadístico Descriptivo de la eficiencia de Remoción de Cadmio con Bioadsorbente a base de Tamarindo, Análisis*

Dosis Floculante	Tamarindo Eficiencia (%)		
1 g	86.2	77.8	70.5
1.5 g	86.7	81.0	72.2
2 g	87.8	81.8	74.8
2.5 g	95.3	90.8	81.3
3 g	95.9	97.2	90.5

**Figura 10**

*Distribución de la eficiencia, Tamarindo: Dosis Vs Eficiencia*



Según el análisis realizado se observa que la eficiencia del bioadsorbente a base de Tamarindo es de 97.2% de remoción cadmio es a una concentración de bioadsorbente de 3g.

#### 4.5.3 *Análisis Estadístico Inferencial*

Después de analizar estadísticamente la muestra se quiere afirmar que la dosis optima está ubicada entre las dosis 2.5 y 3g para ellos se aplica la prueba ANOVA de un solo factor la cual evaluara la significancia de las dosis aplicadas tanto usando cocona como tamarindo, de lo cual se desprende:

##### 4.5.3.1 ANOVA para tratamiento con bioadsorbente con cocona

Método: Codificación de factores (-1; 0; +1)

**Tabla 11**

*Información del factor*

<b>Factor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Tratamiento	Fijo	3	T1; T2; T3

**Tabla 12**

*Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Tratamiento	2	0.05975	0.029877	3.72	0.055
Error	12	0.09642	0.008035		
Total	14	0.15617			

**Tabla 13***Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0.0896378	38.26%	27.97%	3.53%

**Tabla 14***Coefficientes*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	0.1759	0.0231	7.60	0.000	
Tratamiento					
T1	-0.0771	0.0327	-2.36	0.036	1.33
T2	-0.0003	0.0327	-0.01	0.992	1.33

**Figura 7***Ecuación de regresión*

$$CF = 0.1759 - 0.0771 \text{ TRATAMIENTO\_T1} - 0.0003 \text{ TRATAMIENTO\_T2} + 0.0775 \text{ TRATAMIENTO\_T3}$$

**Tabla 15**

*Prueba de Comparación Tukey para tratamientos aplicados con floculante con cocona.*

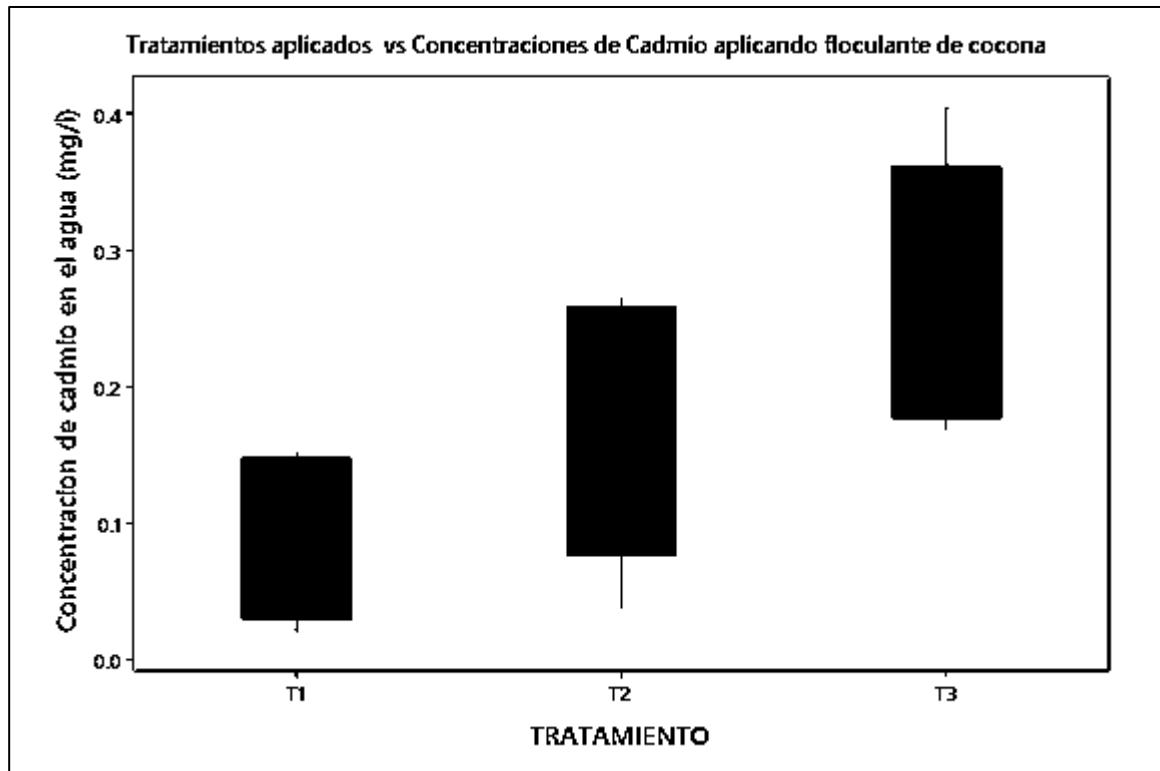
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>	
T3	5	0.2534	A	
T2	5	0.1756	A	B
T1	5	0.0988	B	

*Nota.* Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza que los tratamientos aplicados para tratar aguas contaminadas con cadmio con cáscara de cocona presentan la misma eficiencia estadísticamente hablando pero el tratamiento 1 (T1) presenta mayor erradicación de cadmio en aguas residuales con el mismo componente.

**Figura 11**

*Diagrama de remoción de concentración de cadmio aplicando floculante de Cocona*



*Nota.* Se observa que el mejor tratamiento en depurar cadmio con cascara de cocona es el tratamiento 1.

#### 4.5.3.2 ANOVA para la eficiencia de bioadsorbente con cocona

Método: Codificación de factores (-1; 0; +1)

**Tabla 16**

*Información del factor*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	3	T1; T2; T3

**Tabla 17***Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
		<b>Ajust.</b>	<b>Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tratamiento	2	19.94	9.969	0.28	0.764
Error	12	433.70	36.142		
Total	14	453.64			

**Tabla 18***Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.</b>
		<b>(ajustado)</b>	<b>(pred)</b>
6.01179	4.39%	0.00%	0.00%

**Tabla 19***Coefficientes*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
		<b>coef.</b>			
Constante	88.59	1.55	57.07	0.000	
Tratamiento					
T1	1.53	2.20	0.70	0.498	1.33
T2	-0.29	2.20	-0.13	0.898	1.33

**Figura 8***Ecuación de regresión*

$$\text{EFICIENCIA} = 88.59 + 1.53 \text{ TRATAMIENTO\_T1} - 0.29 \text{ TRATAMIENTO\_T2} - 1.25 \text{ TRATAMIENTO\_T3}$$

**Tabla 20**

*Prueba de Comparación Tukey para eficiencias aplicando tratamientos de floculante con cocona*

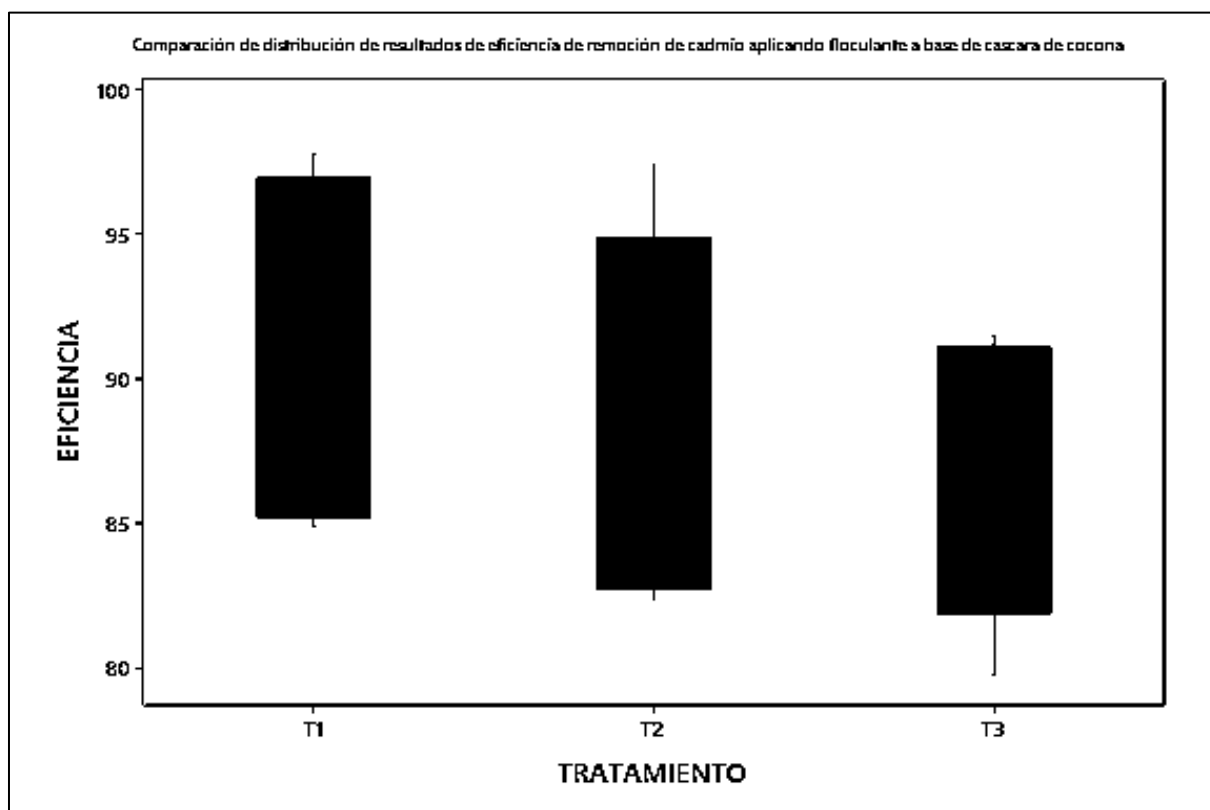
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T1	5	90.12	A
T2	5	88.30	A
T3	5	87.34	A

**Nota.** Agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La remoción de cadmio con un  $F=0.28$  asegura su efectividad estadística, utilizando bioadsorbente a base de cocona. De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que las eficiencias son casi comunes entre 80 y mayores a 90% con un máximo de 97.8% de eficiencia de remoción de cadmio usando floculante con cocona, siendo en tratamiento 1 el más eficiente en remover cadmio con floculante de cocona.

**Figura 12**

*Diagrama de eficiencias de la remoción de cadmio con cascara de Cocona*



*Nota.* Se observa que el tratamiento más eficiente en remover cadmio a base de floculante de cocona es el tratamiento 1.

#### 4.5.3.3 ANOVA para tratamientos de bioadsorbente con tamarindo

Método: Codificación de factores (-1; 0; +1)

**Tabla 21**

*Información del factor*

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	Fijo	3	T1; T2; T3

**Tabla 22***Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
		<b>Ajust.</b>	<b>Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Tratamiento	2	0.3117	0.15584	10.77	0.002
Error	12	0.1736	0.01447		
Total	14	0.4853			

**Tabla 23***Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad.</b>
		<b>(ajustado)</b>	<b>(pred)</b>
0.120287	64.22%	58.26%	44.10%

**Tabla 24***Coefficientes*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
		<b>coef.</b>			
Constante	0.2513	0.0311	8.09	0.000	
Tratamiento					
T1	-0.1551	0.0439	-3.53	0.004	1.33

T2	-0.0371	0.0439	-0.84	0.415	1.33
----	---------	--------	-------	-------	------

**Tabla 25**

*Ecuación de regresión*

$$CF = 0.2513 - 0.1551 \text{ TRATAMIENTO\_T1} - 0.0371 \text{ TRATAMIENTO\_T2} + 0.1921 \text{ TRATAMIENTO\_T3}$$

**Tabla 26**

*Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes*

Obs	CF	Ajuste	Resid	Resid est.	
15	0.1910	0.4434	-0.2524	-2.35	R

**Tabla 27**

*Prueba de Comparación Tukey para tratamientos aplicados con floculante con tamarindo*

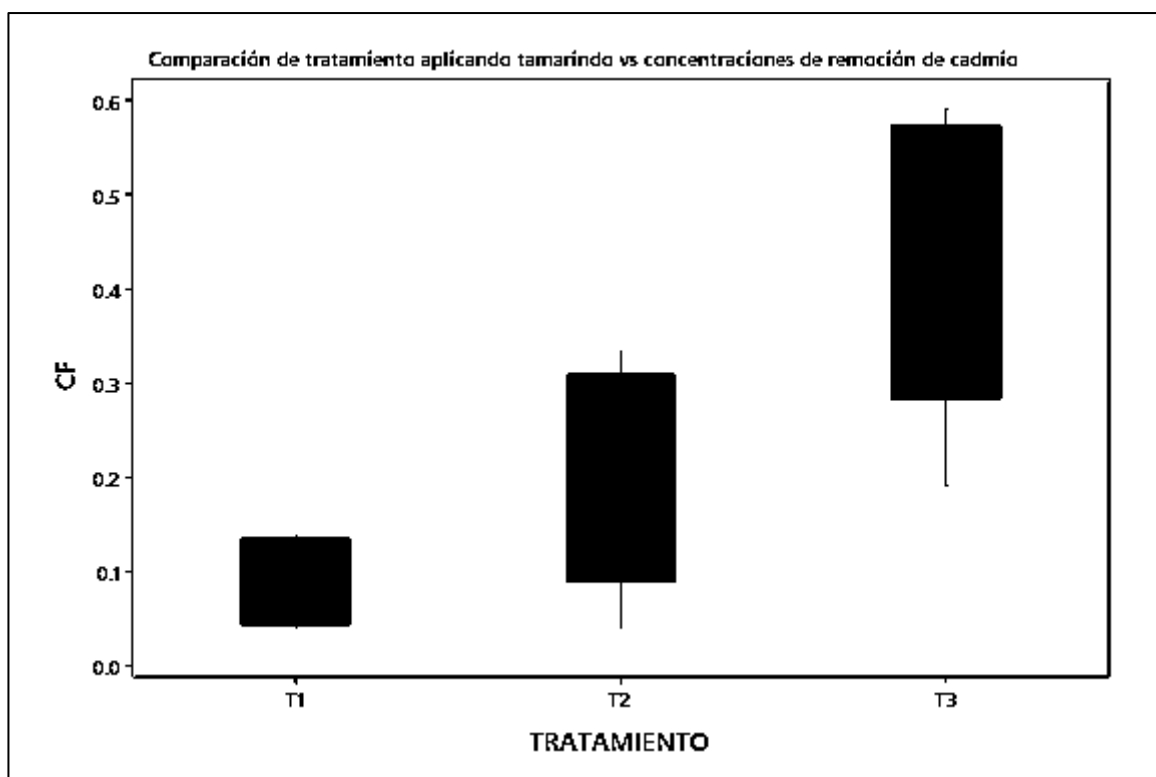
Tratamiento	N	Media	Agrupación
T3	5	0.4434	A
T2	5	0.2142	B
T1	5	0.0962	B

**Nota.** Agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2.5 y 3 presentan mayor remoción de cadmio con un  $F= 10.77$  que asegura su efectividad estadística, utilizando bioadsorbente a base de tamarindo, siendo el tratamiento 1 el que mayor concentración de cadmio removi6 al momento de tratar aguas contaminadas con cadmio a base de tamarindo.

### Figura 13

*Diagrama de remoci6n de concentraci6n de cadmio con Tamarindo*



*Nota.* Se observa que el mejor tratamiento en depurar cadmio con cascara de tamarindo es el tratamiento 1.

#### 4.5.3.4 ANOVA para la eficiencia de bioadsorbente con tamarindo

Método: Codificación de factores (-1; 0; +1)

**Tabla 28**

*Información del factor*

<b>Factor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Tratamiento	Fijo	3	T1; T2; T3

**Tabla 29**

*Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Tratamiento	2	400.4	200.20	3.89	0.050
Error	12	617.5	51.46		
Total	14	1017.9			

**Tabla 30**

*Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
7.17338	39.34%	29.23%	5.21%

**Tabla 31***Coefficientes*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	84.65	1.85	45.71	0.000	
Tratamiento					
T1	5.73	2.62	2.19	0.049	1.33
T2	1.07	2.62	0.41	0.691	1.33

**Figura 9***Ecuación de regresión*

$$CF = 84.65 + 5.73 \text{ TRATAMIENTO\_T1} + 1.07 \text{ TRATAMIENTO\_T2} - 6.79 \text{ TRATAMIENTO\_T3}$$

**Tabla 32**

*Prueba de Comparación Tukey para eficiencias aplicando tratamientos de floculante con tamarindo*

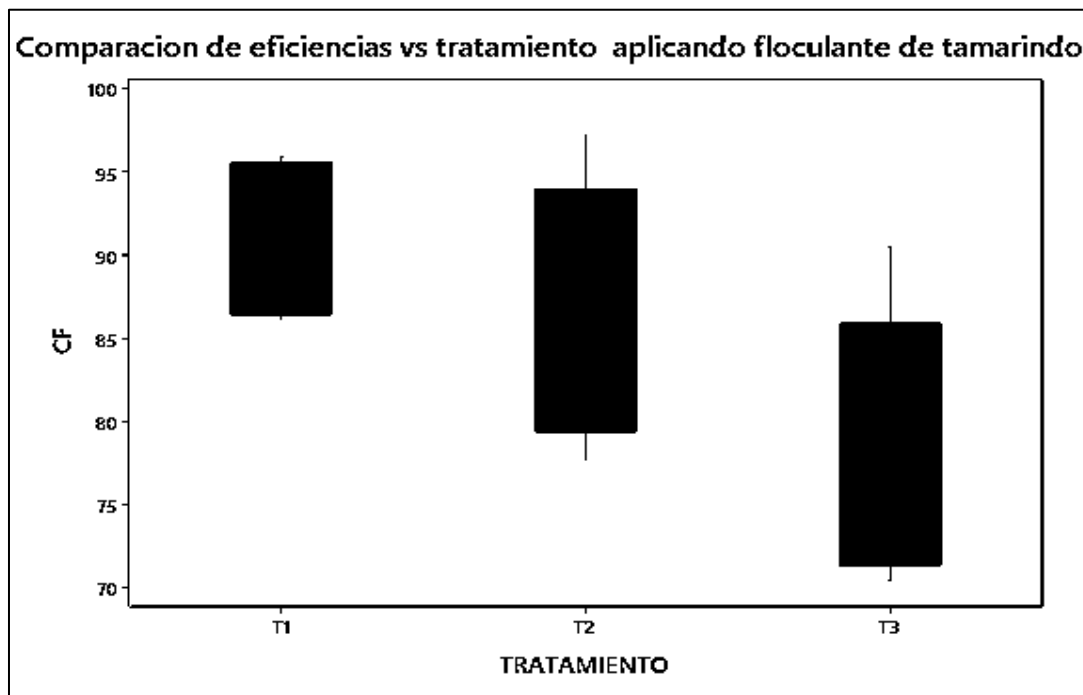
<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
T1	5	90.38	A
T2	5	85.72	A B
T3	5	77.86	B

*Nota.* Agrupa información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo resultado se puede apreciar que con un 95% de confianza se fundamenta que existen por lo menos una media significativa y que las dosis 2.5 y 3 presentan mayor eficiencia de remoción de cadmio con un  $F=3.89$  presentado una eficiencia de 97.2% en el tratamiento 2 que asegura su efectividad estadística, utilizando bioadsorbente a base de tamarindo.

#### Figura 14

*Diagrama de eficiencias vs tratamiento aplicando floculante de Tamarindo*



*Nota.* Se observa que el tratamiento más eficiente en remover cadmio a base de floculante de tamarindo es el tratamiento 2.

De lo cual se desprende:

**Tabla 33**

*Análisis comparativo de aplicación de tratamientos con Cocona vs Tamarindo*

<b>Base floculante</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Concentración de remoción</b>
Cocona	T1	D4 (2.5g floculante)	de 97.8	0.022 mg/l
Tamarindo	T2	D5 (3g floculante)	de 97.2	0.042 mg/l

#### **4.5.4 Contrastación de Hipótesis de Investigación**

Para poder contrastar las hipótesis tanto general como específica se contrasta de la siguiente manera:

Tabla 34

## Contrastación de Hipótesis

Hipótesis General	Argumentación	Contrastación
La evaluación de la capacidad de biosorción de la cáscara de Cocona <i>Solanum sesiliflorum</i> y Tamarindo <i>Tamarindus indica</i> permitirá conocer el nivel de remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio, 2020.	Determinando la dosis optima permite conocer los niveles de remoción de cadmio y la eficiencia permite reconocer si el proceso es o no efectivo para ambos adsorbentes naturales	Verdadera
Hipótesis Específicas		
La cascara de Cocona <i>solanum sesiliflorum</i> como bioadsorbente natural tiene su dosis óptima entre 2.5 y 3 g. para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio	Con un F= 3.72 y un p-valor=0.055 se puede afirmar que las dosis optima aplicado bioadsorbente con cocona es 2.5g	Verdadera
La cascara de Tamarindo <i>Tamarindus indica</i> como bioadsorbente natural tiene su dosis óptima entre 2.5 y 3 g. para la remoción de Cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio.	Con un F= 10.77 y un p-valor=0.002 se puede afirmar que las dosis optima aplicado bioadsorbente con tamarindo es 3g	Verdadera
La cascara de cocona <i>Solanum sesiliflorum</i> como bioadsorbente natural tiene una eficiencia entre el 85 y 95% en la erradicación de Cadmio en ejemplares sintéticos a nivel de laboratorio.	Con un F= 0.28 y un p-valor=0.764 se puede afirmar que la eficiencia de remoción de cadmio en aguas sintéticas utilizando bioadsorbente a base de cocona es de 97.8% con una dosis optima de bioadsorbente de 2.5g	Verdadera
La cascara de <i>Tamarindo tamarindus indica</i> como bioadsorbente natural tiene una alta eficiencia entre el 70 y 95% en la erradicación de Cadmio en ejemplares sintéticos a nivel de laboratorio.	Con un F= 3.85 y un p-valor=0.050 se puede afirmar que la eficiencia de remoción de cadmio en aguas sintéticas utilizando bioadsorbente a base de tamarindo es de 97.2% con una dosis optima de bioadsorbente de 3g	Verdadera

**Tabla 35***Análisis comparativo de aplicación de tratamientos con Cocona vs Tamarindo*

<b>Base floculante</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Concentración de remoción</b>
Cocona	T1	D4 (2.5g de floculante)	97.8	0.022 mg/l
Tamarindo	T2	D5 (3g de floculante)	97.2	0.042 mg/l

## V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Jayakumar et. al (2021) en su investigación “*Biosorption potential of brown algae, Sargassum polycystum, for the removal of toxic metals, cadmium and zinc*”, tuvieron como objetivo principal evaluar el potencial de bioadsorción del alga parda para la eliminación de metales tóxicos como cadmio y zinc en condiciones controladas. En ese sentido, se identificaron que las condiciones óptimas para eliminar el cadmio fueron de pH: 4.65, masa de biosorbente: 1.8 g/L y velocidad de agitación: 76 rpm, mientras que para el zinc fueron de pH: 5.7, masa de biosorbente: 1.2 g/L y velocidad de agitación: 125 rpm, siendo así que el resultado principal demuestra que, en condiciones óptimas, la máxima eficiencia de remoción alcanzada con Cd y Zn es 86.20 y 92,90%. Estos resultados fueron similares a los encontrados en el presente estudio sobre cómo encontrando las condiciones óptimas estas permiten obtener una remoción mayor; ya que, las muestras que fueron trabajadas con Cocona para la remoción de Cadmio con concentraciones iniciales de 1.5 y 2.0 mg/l alcanzaron sus máximas eficiencias con la dosis de 3 g, llegando a obtenerse 97.4 y 91.5% respectivamente, sin embargo para la concentración de 1 mg Cd/l se alcanzó una eficiencia del 97.8% con la dosis de 2.5 g., mientras que, para la remoción de Cadmio, utilizando el Tamarindo con las mismas concentraciones iniciales de Cadmio y dosis de 3 g de floculante, alcanzaron eficiencias del 95.9, 97.2 y 90.5% respectivamente.

Salas y Effio (2020) en su artículo de investigación denominado “*Tiempo de Contacto y pH de la Cáscara de Granadilla (Passiflora ligularis L.) en la Biosorción de Zinc en Aguas Contaminadas del Río Grande*”, plantearon como objetivo principal evaluar la capacidad de adsorción de zinc mediante el bioadsorbente natural creado por medio de cáscaras de la granadillas; en ese sentido, se prestó suma importancia a elementos tales como la influencia del tiempo de contacto y los niveles de pH de la

locación. Es así como, los resultados principales encontrados en el estudio fueron los siguientes. En primer lugar, con un pH de 6 la capacidad de adsorción fue de 93,70 mg/g, con un pH de 8 la capacidad de adsorción fue de 117,89 mg/g y con un pH de 10 la capacidad de adsorción fue de 119,20 mg/g y con relación a la eficiencia de remoción se observó que este se dio con un pH de 10 removiendo hasta el 99.96% del zinc. Esto se asemeja a lo encontrado sobre la importancia del dosaje y del nivel de pH, pues en nuestra investigación se trabajaron con tiempos de contacto para todas las muestras de 30 minutos y a temperatura ambiente, en el caso del floculante de Cocona se alcanzó la dosis optima con 3,0 g, para las concentraciones iniciales de 1.5 y 2.0 mg/l llegando a remover el Cadmio hasta 0.039 y 0.170 mg/l respectivamente, mientras que para la concentración de 1.0 mg Cd/l se llegó a una remoción final de 0.038 mg Cd/l con la dosis de 2.5 g., para el caso de la remoción con el floculante de Tamarindo a partir de las mismas concentraciones y dosis de 3.0 g, se alcanzó una remoción final hasta valores de 0.041, 0.042 y 0.191 mg/l. En el caso del pH para la cocona hubo una variación entre 6.3 y 7.1; mientras que para el caso del tamarindo la variación fue entre 6.2 y 7.1.

Camacho y Minchola (2021) en tesis denominada "*Efecto de Ceniza de Cacao Theobroma Cacao, en la Remoción de Plomo y Cadmio, caso: Río Llactun - Ancash - 2021*", ello con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el río Llactun al emplear 0.50g/L, 0.60g/L y 0.7g/L de ceniza de cáscara de cacao mientras que los objetivos específicos fueron: caracterizar el agua del río Llactun, evaluar los análisis de fluorescencia de rayos x y evaluar los niveles de plomo y cadmio de las aguas del río Llactun antes y después de la remoción. Los resultados encontrados fueron los siguientes: con relación a la muestra 1 (0.50g/Lt de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.018mg/l de plomo y de 0.0110 a 0.0073mg/l de cadmio, con relación a la muestra 2 (0.60g/Lt de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.008mg/l de plomo y de 0.0110

a 0.0028mg/l de cadmio, y, con relación a la muestra 03 (0.70g/lit de ceniza de cacao) esta se redujo de 0.03 a 0.003mg/l de plomo y de 0.0110 a 0.0013mg/l de cadmio. A diferencia de nuestro trabajo de investigación donde trabajamos con biosorbentes de cascara de Cocona y Tamarindo, y utilizamos  $Cd^{+2}$  como metal a ser removido, los resultados obtenidos con el floculante de Cocona mostraron su mayor eficiencia (97.8%) con la dosis de 2.5 g para remover los niveles de Cadmio de 1.0 mg/l hasta 0.038 mg/l, y un pH de 6.9. Del mismo modo tenemos que en el caso del floculante de Tamarindo, se obtuvo que la mayor eficiencia fue del 97.2% con la dosis de 3.0 g, llegando a remover concentraciones de Cadmio desde 1.5 mg/l hasta 0.042 mg/l, y un pH de 6.9.

## VI CONCLUSIONES

- Como primera conclusión tenemos que para remover Cadmio de una concentración inicial de 1.0 mg/l, la mejor dosis (optimo) de Cocona fue de 2.5 g de biosorbente, así mismo se tiene que para las concentraciones de cadmio de 1.5 y 2.0 mg/l la mejor dosis (optimo) fue de 3.0 g de biosorbente.
- Como segunda conclusión podemos indicar que para la erradicación de Cadmio desde una concentración inicial de 1.0, 1.5 y 2.0 mg/l, la mejor dosis (optimo) de Tamarindo se obtuvo con 3.0 g de biosorbente.
- Como tercera conclusión tenemos que la eficiencia alcanzada en la remoción de Cadmio de 1.0 mg/l hasta 0.022 mg/l con el biosorbente de Cocona fue de 97.8%, de igual manera para remover Cadmio de 1.5 mg/l hasta 0.039 mg/l la eficiencia obtenida fue del 97.4%, y por último para remover Cadmio de 2.0 mg/l hasta 0.170 mg/l la eficiencia fue del 91.5%.
- Como cuarta conclusión tenemos que la eficiencia en cuanto a la remoción de Cadmio de 1.0 mg/l hasta 0.041 mg/l con el biosorbente de Tamarindo fue de 95.9%, asimismo para remover Cadmio desde 1.5 mg/l hasta 0.042 mg/l la eficiencia fue del 97.2%, y por último para remover Cadmio de 2.0 mg/l hasta 0.191 mg/l la eficiencia fue del 90.5%.
- Se concluye que para remover 1.0 mg Cd/l la Cocona es ligeramente más eficaz en la erradicación de Cadmio (97.8%) lo cual mostró una diferencia en relación al Tamarindo (95.9%), ya que el primero requiere 2.5 g de biosorbente, mientras que el segundo requiere 3.0 g de biosorbente, así mismo para remover 1.5 mg Cd/l la Cocona y el Tamarindo presentan eficiencias semejantes del 97.4 y 97.2% requiriendo ambas 3.0 g de biosorbente, y finalmente para remover 2.0 mg Cd/l la Cocona y el Tamarindo también

presentan eficiencias semejantes del 91.5 y 90.5% requiriendo ambas 3.0 g de biosorbente.

## VII RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el método aplicado en la presente investigación para efluentes industriales generados en los diversos procesos productivos que contengan concentraciones de cadmio inferiores a 3.0 ppm.
- A manera de conocer la posibilidad de mejorar la capacidad de remoción de los floculantes utilizados en la presente investigación se recomienda trabajar con dosis superiores a 3.0 gramos de biosorbentes de Cocona y Tamarindo.
- Se recomienda desarrollar ensayos experimentales con concentraciones superiores a 2.0 mg Cd/l, a fin de ver el comportamiento relacionadas con las eficiencias de los biosorbentes de Cocona y Tamarindo.
- A fin de potenciar el efecto de remoción de Cadmio se recomienda realizar mezclas de los floculantes de Cocona y Tamarindo de manera que pueda incrementarse las eficiencias mostradas por los biosorbentes de Cocona y Tamarindo.
- Se recomienda probar y desarrollar tratamientos con otros floculantes naturales considerados de desecho para remover diferentes metales pesados, a fin de evaluar su capacidad de biosorción en general.

## VIII REFERENCIAS

- Amiart, C. y Rainbow, P. (2009). *Environmental Assessment of Estuarine Ecosystems: A case study*. CRC Press.  
[https://www.academia.edu/38357732/Claude\\_Amiard\\_Triquet\\_Philip\\_S\\_Rainbow\\_Environ\\_BookFi\\_org\\_pdf](https://www.academia.edu/38357732/Claude_Amiard_Triquet_Philip_S_Rainbow_Environ_BookFi_org_pdf)
- Auccalla, A. (2019). *El Cultivo de la Cocona (Solanum Sessiliflorum Dunal) variedad CTR en Curimaná – Aguaytía* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Agraria La Molina  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4097/auccalla-trinidad-antonio-felix.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camacho, A. y Bryam, M. (2021). *Efecto de Ceniza de Cacao Theobroma Cacao, en la Remoción de Plomo y Cadmio, caso: Río Llactun - Ancash – 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Universidad César Vallejo.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91467/Camacho\\_BAA-Minchola\\_RBJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91467/Camacho_BAA-Minchola_RBJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cañizares, O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa Microbiana. *Revista Latinoamericana en Microbiología. Revista Lationamericana de Microbiología*, 42(1), pp. 131-143.  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/lamico/mi-2000/mi003f.pdf>
- Cardona, A., Cabañas, D. y Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 17(1), pp. 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>
- Carrillo, E. y Zavala, E. (2023). Comparación de floculantes en el tratamiento de agua

residual doméstica. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11(1), pp. 116-120.

<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/10348/10121>

Carro de Diego, L. (2012). *Eliminación del Mercurio de Efluentes acuosos con materiales de bajo coste: Proceso combinado de biosorción- reducción* [Tesis de postgrado, Universidad de Da Coruña]. Repositorio Institucional Universidad de Da Coruña. [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10146/CarrodeDiego\\_LeticiaM\\_TD\\_2012.pdf](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10146/CarrodeDiego_LeticiaM_TD_2012.pdf)

Castillo, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Universidad del Bío-Bío. [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf)

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D. y Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), pp. 73-90. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5432290.pdf>

Chávez, M. (2019). La biomasa: fuente alternativa de combustibles y compuestos químicos. *Anales de Química*, 115(5), pp. 399-407. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7285186>

Choquejahuá, Y. (2018). *Evaluación de la remoción de arsénico en medio acuoso a través de la bioadsorción con biomasa de granos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.) bajo condiciones altoandinas - Puno, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional Universidad Peruana Unión. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1689/Yesica\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1689/Yesica_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Chou, L.C, & Tsai, C.C. (2023). Assessing the Effectiveness of Fermented Banana Peel Extracts for the Biosorption and Removal of Cadmium to Mitigate Inflammation and Oxidative Stress. *Foods*, 12(12), pp. 2632-2648.  
<https://doi.org/10.3390/foods12132632>
- Comte, S., Guibaud, G., y Baudu, M. (2008). Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) towards Cd, Cu and Pb for different pH values. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), pp. 185–193.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407008072>
- Dávila, N. (2012). *Caracterización del Proceso de Biosorción de Metales Pesados Mediante Residuos Sólidos de Café* [Tesis de postgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma de nuevo León.  
<http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>
- Dey, S., Basha, S. R., Babu, G. V., & Nagendra, T. (2021). Characteristic and biosorption capacities of orange peels biosorbents for removal of ammonia and nitrate from contaminated water. *Cleaner Materials*, 1(1), pp. 1-14.  
<https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100001>
- Dinh, V.P., Xuan, T.D., Hung, N. Q., Luu, T.T., Do, T.T., Nguyen, T.D., Nguyen, V.D., ... Tran, N.Q. (2020). Primary biosorption mechanism of lead (II) and cadmium (II) cations from aqueous solution by pomelo (*Citrus maxima*) fruit peels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), pp. 63504-63515.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32720021/>
- Elinder, C.G. (1985). *Cadmium: Uses, Occurrence, and Intake*. CRC Press.  
<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429260605-3/cadmium-uses-occurrence-intake-carl-gustaf-elinder>

- Fomina, M. y Gadd, G. (2014). Biosorption: current perspectives on concept, definition and application. *Bioresource Technology*, 160(1), pp. 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- Garcés, L. y Coavas, S. (2012). *Evaluación de la Capacidad de Adsorción en la Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis) modificada con Quitosano para la Remoción de CR (VI) en aguas Residuales* [Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Institucional Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/140/tesis%20Garcés-Coavas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Genchi, G., Sinicropi, M., Lauria, G., Carocci, A. y Catalano, A. (2020). The Effects of Cadmium Toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), pp. 1-24. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- Glorias, F. (2014). *Remoción de Cromo Hexavalente utilizando un Sistema de Filtración con  $\alpha$ -Alúmina Toluca – México* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14995>
- Gobierno de Argentina. (s.f.). *Metales pesados en sustancias y productos químicos*. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/productos-quimicos/metales-pesados#:~:text=Los%20metales%20pesados%20son%20aquellos,de%20productos%20de%20uso%20cotidiano.>
- Gupta, V., Jain, C., Ali, I., Sharma, M. & Saini, V. (2003). Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash a sugar industry waste. *Water research*, 37(16), pp. 4038--4044. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00292-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00292-6)
- Jayakumar, V., Govindaradjane, S., Rajamohan, N., y Rajasimman, M. (2021).

- Biosorption potential of brown algae, *Sargassum polycystum*, for the removal of toxic metals, cadmium and zinc. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), pp. 41909-41922. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15185-7>
- Kuyucak, N., y Volesky, B. (1990). Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions. *Biotech Lett*, 10(1), pp. 137-142. <https://doi.org/10.1007/BF01024641>
- Kwikima, M., Mateso, S. y Chebude, Y. (2021). Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review. *Scientific African*, 13(1), pp. 1-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621002386>
- López, L.H. (2010). *Efecto de la incorporación de extracto de tamarindo (Tamarindus indica) con actividad antioxidante en la elaboración y funcionalidad de películas biodegradables proteína-almidón* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. <https://bindani.izt.uam.mx/concern/tesiuams/x633f123t?locale=pt-BR>
- López, N. (7 de junio de 2022). Con papas y nopal, docentes peruanos logran remover metales pesados del agua. *Radio Nacional de Colombia*. <https://www.radionacional.co/actualidad/mundo/con-papas-y-nopal-logran-remover-metales-pesados-en-el-agua>
- Marín, R. (2013). *Procesos Físicoquímicos en Depuración de Aguas*. Díaz de Santos S.A. [https://books.google.com.pe/books?id=fOuODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=proceso+fisicoquimicos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi2saWQt9TuAhVWHrkGHeEYD9AQ6AEwAXoE\\_CAYQAg#v=onepage&q=proceso%20fisicoquimicos&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=fOuODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=proceso+fisicoquimicos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi2saWQt9TuAhVWHrkGHeEYD9AQ6AEwAXoE_CAYQAg#v=onepage&q=proceso%20fisicoquimicos&f=false)
- Marshall, R. y Espinoza, J. (2014). *Evaluación del poder Biosorbente de las Cáscaras de*

*Cítricos (Limón y Toronja) para Eliminación de Metales Pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18100/1/401-1208%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20poder%20biosorbente%20de%20las%20c%C3%A1scaras%20de%20c%C3%ADtricos.pdf>

Decreto Supremo N°010-2010- MINAM, Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. (20 de agosto de 2010). Ministerio del Ambiente. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=3668](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3668)

Ministerio del Ambiente [MINAM] (2 de diciembre de 2022). *MINAM impulsa acciones frente a la contaminación por metales pesados*. Plataforma Digital Única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/676642-minam-impulsa-acciones-frente-a-la-contaminacion-por-metales-pesados>

Miranda, E. (29 de diciembre de 2022). *Un año que termina con demandas de afectados de metales pesados pendientes de atención*. Convoca. <https://convoca.pe/agenda-propia/2022-un-ano-que-termina-con-demandas-de-afectados-de-metales-pesados-pendientes-de>

Muñiz, J. (2016). *Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa – 2016* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4668/Mu%C3%B1iz\\_RJA.pdf?sequence=1](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/4668/Mu%C3%B1iz_RJA.pdf?sequence=1)

Páez, M., Mercado, G., Blancas, F., Villegas, R. y Sáyago, S. (2016). *Compuestos bioactivos y propiedades saludables del tamarindo (Tamarindo indica L).*

- Biotecnia*, 18(1), pp. 10-21. <https://redalyc.org/pdf/6729/672971110002.pdf>
- Park, D., Yun, Y., y Park, J. (2010). The past, present, and future trends of biosorption. *Biotechnol Bioprocess Engineering*, 15(1), pp. 86-102. [https://www.researchgate.net/publication/227318224\\_The\\_Past\\_Present\\_and\\_Future\\_Trends\\_of\\_Biosorption](https://www.researchgate.net/publication/227318224_The_Past_Present_and_Future_Trends_of_Biosorption)
- Pari, V. (2018). *Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional Universidad Peruana Unión. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1681/Maritza\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1681/Maritza_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Peréz, F. (2016). *Establecimiento de Cultivo In Vitro de Tamarindus Indica L. Para la Obtención de Antioxidantes* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional Universidad Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/65363>
- Qaiser, S. Saleemi, A. y Mahmood, A. (2007). Heavy metal uptake by agro based waste materials. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), pp. 409-416. <https://www.redalyc.org/pdf/1733/173314723008.pdf>
- Ramírez, F. (2019). Cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) reproductive physiology: a review. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(1), pp. 1-19. [https://www.researchgate.net/publication/338033478\\_Cocona\\_Solanum\\_sessiliflorum\\_Dunal\\_reproductive\\_physiology\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/338033478_Cocona_Solanum_sessiliflorum_Dunal_reproductive_physiology_a_review)
- Real Academia Española (s.f.). *Eficiencia*. Diccionario de la lengua española. (23va edición) <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Real Academia Española (s.f.). *Toxicidad*. Diccionario de la lengua española. (23va

edición) <https://dle.rae.es/toxicidad>

Redacción Ambiente (16 de diciembre de 2022). Diez millones de peruanos están en riesgo por ingerir sustancias tóxicas en el agua. *El Espectador*.

<https://www.elespectador.com/ambiente/diez-millones-de-peruanos-estan-en-riesgo-por-ingerir-sustancias-toxicas-en-el-agua-noticias-hoy/>

Rene, E., Sahinkaya, E., Lewis, A. y Lens, P. (2017). Heavy Metal Removal from Wastewaters by Biosorption: Mechanisms and Modeling. *En Sustainable Heavy Metal Remediation*, 8(1), pp. 25–63.

[https://www.researchgate.net/publication/317318125\\_Heavy\\_Metal\\_Removal\\_from\\_Wastewaters\\_by\\_Biosorption\\_Mechanisms\\_and\\_Modeling](https://www.researchgate.net/publication/317318125_Heavy_Metal_Removal_from_Wastewaters_by_Biosorption_Mechanisms_and_Modeling)

Salas, G. y Effio, W. (27 al 30 de julio de 2020). Tiempo de Contacto y pH de la Cascara de Granadilla (*Passiflora ligularis* L.) en la Biosorción de Zinc en Aguas Contaminadas del Rio Grande. *En 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy”*, Buenos Aires, Argentina.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26879/Contact%20time%20and%20pH%20of%20the%20granadilla%20skin%20%28Passiflora%20ligularis%20L.%29%20in%20the%20zinc%20biosorption.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Taheri, M., Khajenoori, M., Shiri-Yekta, Z. & Zahakifar, F. (2020). Review of effective parameters on bioabsorption of heavy metals. *ResearchGate*, 1(1) pp. 1-6

[https://www.researchgate.net/profile/Maryam-Khajenoori/publication/346657371\\_Review\\_of\\_effective\\_parameters\\_on\\_bioabs](https://www.researchgate.net/profile/Maryam-Khajenoori/publication/346657371_Review_of_effective_parameters_on_bioabs)

[orption\\_of\\_heavy\\_metals/links/5fecd25745851568d142c522/Review-of-effective-parameters-on-bioabsorption-of-heavy-metals.pdf](https://www.researchgate.net/publication/330111111/figure/fig/5fecd25745851568d142c522/Review-of-effective-parameters-on-bioabsorption-of-heavy-metals.pdf)

Tumay, M. (21 de octubre de 2018). La asombrosa capacidad de la maracuyá para limpiar aguas contaminadas. *El Comercio*.

<https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/cascaras-maracuya-limpiar-aguas-contaminadas-investigacion-noticia-568679-noticia/?ref=ecr>

Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (s.f.). *Compuestos*. En *Combustión*.

<https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/quimica1/unidad2/combustion/compuestos>

Valverde, I. (2020). *Biosorción de Metales pesados en drenaje ácido mediante el uso de cáscaras de Citrus limonium* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].

Repositorio Institucional Universidad Privada del Norte.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24200/Valverde%20Rodriguez%2c%20Irvin%20Arlinst.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Volesky, B. (2003). Biosorption process simulation tools. *Hydrometallurgy*, 71(2), 179-190. [http://biosorption.mcgill.ca/publication/PDFs/166-HM'03-71\(1-2\)179-190-toolsBV.pdf](http://biosorption.mcgill.ca/publication/PDFs/166-HM'03-71(1-2)179-190-toolsBV.pdf)

Wankat, P. C. (2014). *Ingeniería de Procesos de Separación*. Prentice Hall.

## **IX ANEXOS**

### **Anexo A.**

#### **Matriz de consistencia**

Tabla 36

## Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala		
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la capacidad de biosorción de la cáscara de Cocona solanum sessiliflorum y Tamarindo tamarindus indica para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2020?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> 1.¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de Cocona solanum sessiliflorum como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio? 2.¿Cuál será la dosis óptima de la cáscara de Tamarindo tamarindus indica como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio? 3.¿Cuál será la eficacia de la cáscara de Cocona solanum sessiliflorum como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio? 4.¿Cuál será la eficacia de la cáscara de Tamarindo tamarindus indica como biosorbente para la erradicación de cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Establecer la capacidad de biosorción de la cascara de Cocona solanum sesiliflorum y Tamarindo tamarindus indica para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2023</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1. Estimar la dosis óptima de la cáscara de Cocona solanum sesiliflorum como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio 2.Estimar la dosis óptima de la cáscara de Tamarindo tamarindus indica como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio 3.Calcular la eficacia de la cáscara de Cocona solanum sesiliflorum como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio. 4. Calcular la eficacia de la cáscara de Tamarindo tamarindus indica como biosorbente para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La evaluación de la capacidad de biosorción de la cáscara de Cocona solanum sesiliflorum y Tamarindo tamarindus indica permitirá conocer el nivel de erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio, 2023.</p> <p><b>Hipótesis Específicos</b> 1.La cáscara de Cocona solanum sesiliflorum como biosorbente tiene su dosis óptima entre 2 y 2.5 g. para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio. 2.La cáscara de Tamarindo tamarindus indica como biosorbente tiene su dosis óptima entre 1.0 y 2.5 g. para la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio. 3.La cáscara de cocona solanum sesiliflorum como biosorbente tiene una eficacia entre el 85 y 95% en la erradicación de Cadmio en muestras artificiales a nivel de laboratorio. 4.La cáscara de tamarindo tamarindus indica como biosorbente tiene una alta eficacia entre el 70 y 95% en la erradicación de Cadmio en</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p>	<p>Proceso de eliminación de solutos (i.e. metales pesados, compuestos orgánicos, etc.) de soluciones acuosas, mediante la adhesión pasiva a biomasa inerte. El proceso de biosorción tiene como característica principal la retención del metal en la superficie celular del biosorbente. (Dávila, 2012)</p>	<p>Para realizar la bioadsorción existen factores que permiten desarrollar este proceso, estos factores son: parámetros fisicoquímicos, propiedades del contaminante, propiedades de la biomasa y condiciones del medio.</p>	FLOCULANTE 1	Concentración	(g/l)		
			Dosis				(ml)			
			Velocidad de Agitación				(rpm)			
			Tiempo				(min)			
			FLOCULANTE 2			Concentración	(g/l)			
						Dosis	(ml)			
						Velocidad de Agitación	(rpm)			
						Tiempo	(min)			
			<p><b>Variable Dependiente:</b></p>			<p>Existen varios métodos para llevar a cabo la erradicación de metales pesados de efluentes, algunos de ellos son: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Usualmente son utilizados cuando se necesita hacer una remoción de concentraciones altas de metales pesados (Kuyucak, 1990).</p>	<p>Los metales pesados están en las aguas contaminadas, resultado de actividades industriales y, por el nivel de toxicidad que presentan existe la necesidad de disminuir sus concentraciones a niveles mínimos, hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino removerse.</p>	PARAMETRO INORGANICO	Concentración Inicial Cd	(mg/l)
									Concentración Inicial Cd	(mg/l)
									Eficiencia	(%)
									Remoción de Cadmio	