



## Eficiencia de bioadsorción de vegetales silvestres sometidos a metales y metaloide contenido en agua superficial

Bioadsorption efficiency of wild vegetables subjected to metals and metalloids contained in surface water

Amadeo Enriquez Donaires<sup>1</sup> • Luz Marina Acharte Lume<sup>1</sup> • Luis Quispealaya Armas<sup>1</sup> • Wilmer Castellanos Felipe<sup>1</sup> • Jeny Mariela Asto Manrique<sup>1</sup>

Recibido: 05 de Julio del 2024 / Aceptado: 29 de enero del 2025

### RESUMEN

El propósito fue evaluar la capacidad de bioadsorción de vegetales sometidos a metales y metaloide contenido en agua superficial de San Pedro de Mimosa – Ccochaccasa y bocamina Ocopa. Las muestras de agua y plantas fueron procesadas y digestadas en medio ácido, previo al análisis con la metodología de la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados de contenido de arsénico, cadmio y plomo en aguas de San Pedro de Mimosa antes de la bioadsorción fueron: 0.4643, 0.0083 y 0.0252 mg/L respectivamente; asimismo, con agua de bocamina Ocopa fueron 0.5498, 0.0023 y 0.0315 mg/L. Después de la actividad del bioadsorbente contenido en agua superficial de San Pedro de Mimosa, con diente de león 0.2564, 0.0062 y -0.0315 mg/L; con cascara de tuna 0.3555, 0.0076 y -0.0193 mg/L; con chilca 0.3086, 0.0047 y -0.0208 mg/L; con agua de bocamina Ocopa, después de la bioadsorción con diente de león 0.287, 0.0013 y 0.0169 mg/L; con cascara de tuna 0.4179, 0.0020 y 0.0212 mg/L; con chilca 0.3653, 0.0019 y 0.0145 mg/L respectivamente. Se concluye que las plantas en mención son buenos bioadsorventes de metales y metaloide.

**Palabras claves:** Bioadsorción, metales, agua superficial, plantas silvestres.

### ABSTRACT

The purpose was to evaluate the bioadsorption capacity of vegetables subjected to metals and metalloids contained in surface water of San Pedro de Mimosa - Ccochaccasa and Ocopa minehole. The water and plant samples were processed and digested in an acidic medium, prior to analysis with the atomic absorption spectrophotometry methodology. The results of arsenic, cadmium and lead content in the waters of San Pedro de Mimosa before bioadsorption were: 0.4643, 0.0083 and 0.0252 mg/L respectively; Likewise, with water from the Ocopa mine intake they were 0.5498, 0.0023 and 0.0315 mg/L. After the activity of the bioadsorbent contained in surface water of San Pedro de Mimosa, with dandelion 0.2564, 0.0062 and -0.0315 mg/L; with prickly pear peel 0.3555, 0.0076 and -0.0193 mg/L; with chilca 0.3086, 0.0047 and -0.0208 mg/L; with Ocopa bocamina water, after bioadsorption with dandelion 0.287, 0.0013 and 0.0169 mg/L; with prickly pear peel 0.4179, 0.0020 and 0.0212 mg/L; with chilca 0.3653, 0.0019 and 0.0145 mg/L respectively. It is concluded that the plants in question are good bioadsorbents of metals and metalloids.

**Keywords:** Bioadsorption, metals, surface water, wild plants.

## 1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha dado mucha atención a los metales pesados y metaloides en los ecosistemas acuáticos y terrestres debido a su potencial toxicidad y capacidad de acumulación en altas concentraciones en plantas y animales. Estos metales se absorben fácilmente en partículas y tienden a acumularse principalmente en los sedimentos superficiales (Covarrubias, 2017; Forghani, et al., 2023). Se ha observado que los sedimentos albergan una variedad de formas de metales pesados, cada una con distintas características en cuanto a reactividad, movilidad, biodisponibilidad, destino y toxicidad (Hadzi et al., 2024; Moulatlet et al., 2023).

✉ Luz Marina Acharte Lume  
Correo: luz.acharte@unh.edu.pe

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú

Diversas investigaciones han evidenciado el impacto de los metales en la salud humana, especialmente en países en desarrollo donde las medidas correctivas son poco frecuentes. Cuando los niveles de estos metales en un ecosistema exceden ciertos límites, resulta difícil para los organismos metabolizarlos eficientemente (Alberta Environment, et al., 2009; Sempértegui, et al., 2018). La toxicidad se manifiesta cuando los organismos no pueden metabolizar rápidamente los metales, lo que lleva a su acumulación en los tejidos y provoca efectos adversos que limitan las funciones vitales. La contaminación por metales en los sedimentos puede afectar tanto a las especies acuáticas como a la salud humana, un fenómeno que ha sido objeto de investigación en ecosistemas de todo el mundo.(Forghani, et al., 2023; Moulatlet, et al., 2023)

Los metales que no son esenciales, como el Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb), suelen ser sustancias muy tóxicas de gran potencia incluso en concentraciones relativamente bajas. Su acumulación en los sedimentos puede representar una amenaza para la supervivencia y el equilibrio de los ecosistemas bentónicos, incrementando el estrés y causando daños al sistema acuático.(Sanchez, 2019; Sempértegui , et al., 2018).

Los sedimentos cumplen un papel fundamental en nuestro entorno al servir como fuente de alimento para los organismos vivos y como sumidero al actuar como un recurso renovable para los ecosistemas acuáticos en lo que respecta a estos contaminantes. Esto se debe a que los

contaminantes, en última instancia, llegan a los sistemas acuáticos a través de la precipitación local, la escorrentía superficial del agua y los lixiviados de rocas y desechos sólidos. (Moulatlet, et al., 2023). Por lo tanto, es imperativo investigar minuciosamente los niveles de metales tóxicos en los sedimentos y contrastar estos niveles con valores de referencia sin contaminación. Esto permitiría comprender completamente el impacto de las actividades mineras, así como la dinámica de acumulación y distribución de metales en entornos acuáticos. Esta información sería crucial para evaluar los riesgos tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

El río estudiado es importante fuente de agua para uso doméstico de consumo de animales y riego. la minería a pequeña escala, así como la minería a gran escala no regulada, ha contribuido enormemente a varios desafíos ambientales, como la degradación de la tierra, la pérdida de biodiversidad y recursos naturales, hundimiento debido a la minería subterránea, contaminación del agua y del suelo, todo lo cual genera importantes impactos en la salud humana (Covarrubias, 2017; Forghani, et al., 2023; Moulatlet, et al., 2023).

Varias organizaciones y tratados internacionales han desarrollado diversos enfoques para evaluar la presencia de metales pesados, los cuales se han empleado para analizar la contaminación y los posibles riesgos ecológicos en los sedimentos. Estos métodos incluyen el factor de enriquecimiento, el índice de carga contaminante, el índice de geoacumulación, el índice de riesgo ecológico potencial y el índice de riesgo ecológico modificado (Hadzi, et al., 2024). Estos enfoques se utilizan para estimar la contaminación y los riesgos ecológicos al comparar la concentración de elementos individuales o múltiples con los valores de fondo, así como en este estudio las normas de los estándares de calidad Ambiental del suelo y agua.

A pesar de la alarmante contaminación por metales pesados de nuestras aguas en las zonas mineras de todo el país, apenas se dispone de información sobre el estado de la contaminación por metales pesados, el alcance de la contaminación y sus riesgos ecológicos utilizando índices de evaluación de la contaminación, lo que puede provocar el deterioro de la calidad del agua y la degradación de los ecosistemas (Avalos, 2023; Azcona, 2015). El objetivo de este estudio fue obtener conocimientos fundamentales sobre el alcance de la contaminación en San Pedro de Mimosa – Ccochaccasa y bocamina Ocopa, en el departamento de Huancavelica.

## 2 MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo aplicada, así mismo, de nivel de investigación explicativo, donde se manipuló la variable vegetal silvestre mediante un prototipo de filtro en condiciones debidamente controladas con el objetivo de evaluar la eficiencia y la capacidad de adsorción de metales en muestras de agua superficial contaminado. Este enfoque busca generar conocimiento con aplicación directa, basándose en la investigación básica y vinculando la teoría con producto. La investigación tiene como objetivo la aplicación práctica de conocimientos teóricos sobre la bioadsorción de As, Pb y Cd, utilizando vegetales silvestres como tecnología

amigable para el medio ambiente y determinando su eficiencia en este contexto específico.

### 2.1. Materiales empleados en la investigación

Los equipos, materiales y reactivos usados en la investigación fueron los siguientes: Espectrofotómetro de absorción atómica de flama, espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), sistema purificador de agua, bloque digestor, multiparámetro, tamizador, molino de bolas de acero inoxidable, campana extractora de gases, balanza analítica de alta precisión, estufa de secado, horno mufla

Así mismo se contó con los siguientes:

**Tabla 1**

*Materiales e insumos usados en la preparación de muestras*

Nº	Materiales e insumos	Unidades	Cantidad
1	Fiolas 10mL, 25mL, 50mL, 100mL	Und	9 de c/u
2	Termómetro	Und	9
3	Placas Petri de vidrio estériles	Und	9
4	Beaker 50mL	Und	9
5	Lunas de reloj	Und	24
6	Tubos de digestión	Und	6
7	Embudos	Und	3
8	Pizetas	Und	3
9	Puntas (tips) para micropipeta de 20-200 µL y 0.5- 5mL	Paquete	3
10	Bolsas de muestreo	Paquete	2
11	Tijeras	Und	6
12	Bandejas	Und	6
13	Espátulas	Und	6

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 2**

*Reactivos usados en la preparación de muestras y para la calibración del equipo de absorción atómica*

Nº	Reactivos	Unidades	Cantidad
1	Ácido clorhídrico al 37.5%	mL	20
2	Ácido nítrico al 68.5%	mL	20
3	Estándar de cobre	mL	10
4	Estándar de arsénico	mL	10
5	Estándar de cadmio	mL	10
6	Estándar de plomo	mL	10

*Nota.* Elaboración propia.

### 2.2. Método de investigación

#### 2.2.1. Método

En este estudio de investigación multidisciplinario se utilizó el método general científico, la investigación fue experimental por existió un autocontrol o el uso de un blanco y así mismo tuvo y control externo que en este

caso se rigió en el cumplimiento respectivo de los parámetros normativos de las Límites Máximos Permisibles (LMPs)

## 2.2.2. Procedimiento metodológico

### 2.2.2.1. Muestreo, acondicionamiento y análisis de muestras de aguas.

#### a) Localización geográfica de los sitios de muestreo en el campo

La georreferenciación del lugar de muestreo se realizó mediante el uso de Google Earth para la planificación inicial, seguida de una verificación en campo utilizando un GPS para asegurar la precisión de la ubicación. Se seleccionaron y ubicaron con

precisión varios puntos clave para el estudio: el riachuelo del anexo San Pedro de Mimosa en el distrito de Ccochaccasa, la bocamina del centro poblado de Ocopa, los márgenes izquierdo y derecho del río Opamayo, y el mercado del distrito de Lircay. Este enfoque combinó herramientas digitales avanzadas con técnicas de campo para garantizar la exactitud en la recolección de datos y la validez del estudio.

**Tabla 3**

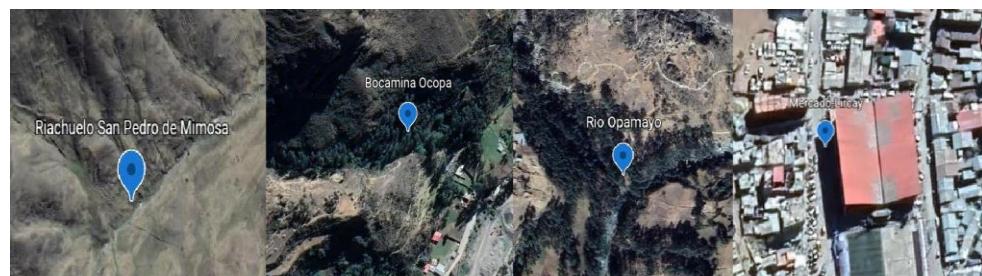
*Georreferenciación Google earth de los puntos de muestreo de agua y vegetales silvestres*

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud	Altura m
Riachuelo San Pedro de Mimosa (agua superficial)	-12,9169954	-74,7906846	4.080,48
Bocamina Ocopa (agua superficial)	-12,9416118	-74,7152329	3.236,65
Río Opamayo (diente de león y chilca)	-13,0005385	-74,7365158	3.292,06
Mercado-Lircay (cascara de tuna)	-12,9937274	-74,7235232	3.274,67

*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 1**

*Puntos de muestreo de agua, vegetales silvestres y cascara de tuna*



#### b) Recolección de las muestras de agua superficial del riachuelo en el anexo San Pedro de Mimosa - Ccochaccasa

El punto de muestreo de agua superficial del riachuelo del anexo San Pedro de Mimosa, se encuentra ubicado a 300 m debajo de la carretera, las cuales fueron recolectadas en embaces

de polietileno de 5 litros de capacidad debidamente limpio y rotulado, en el cual se evaluó parámetros físicos tales como pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y temperatura, luego se hizo proceso de estabilización con 3 mL de ácido nítrico al 50% ( $\text{HNO}_3$  1:1), para luego llevar dentro del hidroculer hasta el laboratorio de química de la FIMCA.

**Figura 2**

*Toma de muestra de agua superficial riachuelo del anexo San Pedro de Mimosa-Cochaccasa*



**c) Recolección de muestras de agua en la bocamina Ocopa - Lircay.**

El punto de muestreo de agua fue a 30 metros al interior de la bocamina Ocopa ubicado en el centro poblado de Ocopa del distrito de Lircay, la recolección

de la muestra de agua fue en un envase de polietileno de capacidad de 5 litros, debidamente limpio y rotulado, inmediatamente se realizó el proceso de estabilización con 3 mL de ácido nítrico al 50% ( $\text{HNO}_3$  1:1), para luego llevar dentro del hidrocooler hasta el laboratorio de Química.

**Figura 3**

*Toma de muestra de agua 30 m interior bocamina Ocopa Centro Poblado Ocopa*



**d) Evaluación in situ de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua provenientes del riachuelo en el anexo San Pedro de Mimosa y de la bocamina Ocopa, del centro poblado Ocopa.**

Una vez recogidas las muestras de agua de San Pedro de Mimosa y la bocamina Ocopa, se procedieron a evaluar los parámetros fisicoquímicos como la conductividad, pH, la temperatura y la demanda de oxígeno, utilizando el equipo multiparámetro El metron CX-401. Esta medición se efectuó

previamente al proceso de estabilización con el propósito de evaluar la calidad del agua conforme a lo establecido en el Decreto Supremo 010-2010-MINAM, que regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos provenientes de actividades minero-metalúrgicas. Además, se tuvo en cuenta el Decreto Supremo 004-2017-MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, específicamente en la Categoría 3, que se refiere a los parámetros para el uso del agua en riego de vegetales y en la bebida de animales

**Tabla 4**  
*Análisis de parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua en el lugar de recolección*

Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Efluente	
		San Pedro Mimosa	Bocatoma Ocopa
Temperatura	°C	14.35	13.2
Conductividad	µS/cm	164.68	136.0
pH	--	5.4	5.5
Oxígeno disuelto	mg/L	11.4	9.4

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 4**

*Análisis de parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua del riachuelo San Pedro de Mimosa y Bocatoma Ocopa*



e) **Etapas de la digestión de las muestras de agua en laboratorio**

- **Digestión del agua recolectada del riachuelo y bocamina antes de realizar el proceso de bioadsorción utilizando las plantas chilca, diente de león y cáscara de tuna.**

Para la digestión de las muestras de agua, se utilizó un equipo digestor de bloques con el fin de preparar adecuadamente los análisis. Se seleccionaron 50 mL de agua de cada fuente, las cuales fueron previamente homogeneizadas, y se

distribuyeron en tubos de ensayo con una capacidad de 50 mL, en tres repeticiones por muestra. Posteriormente, se adicionaron 2 mL de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y 1 mL de ácido clorhídrico (HCl), ambos al 50% de concentración. Las muestras se colocaron en el digestor de bloques, donde se sometieron a una temperatura constante de 85°C durante un período de 240 minutos. Finalizado el proceso de digestión, las muestras se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, tras lo cual se diluyeron con agua ultrapura para ajustar el volumen final a 50 mL, asegurando así la preparación adecuada para su posterior análisis.

**Figura 5**

*El proceso de digestión de las muestras de agua recolectadas de San Pedro de Mimosa y la bocamina, realizado previo a la bioadsorción del diente de león, chilca, y cáscara de tuna.*



**2.2.2.2. Muestreo, acondicionamiento y análisis de plantas en campo y laboratorio**

a) **Muestreo de diente de león (*Taraxacum officinale*), chilca (*Baccharis salicifolia*) y cascara de tuna (*Opuntia ficus-indica*)**

La recolección de muestras de los vegetales silvestres diente de león (*Taraxacum officinale*), chilca (*Baccharis salicifolia*) y cascara de tuna (*Opuntia ficus-indica*), fueron extraídos en bolsas de muestreo, con la ayuda de una espátula cada 50 m de distancia en un área de 1,000 m<sup>2</sup>

(una hectárea), el número de puntos de muestreo (NPM) se calculó según la siguiente ecuación, de acuerdo con el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

$$NPM = 18 + 2.34 * A$$

Dónde: NPM = Número de puntos de muestreo; A = Superficie en hectáreas.

$$NPM = 18 + 2.34 * A = 20.34$$

redondeando 20 puntos.

Las muestras de los vegetales silvestres diente de león y chilca fueron recolectados de los terrenos de cultivo ubicados en las márgenes derecho e izquierdo del río Opamayo, en cantidad de 5 Kg cada uno y las muestras de cascara de tuna (blanca, amarilla

y roja) se recolectaron en cantidad de 5 Kg, los cuales fueron llevados al laboratorio de química para su respectivo análisis y tratamiento.

**b) Proceso de molienda de cada muestra**

Para la reducción de tamaño de las muestras deshidratadas chilca (*Baccharis salicifolia*), diente de león (*Taraxacum officinale*) y

cascara de tuna (*Opuntia ficus-indica*), se utilizó el molino de acero inoxidable modelo SM-100 durante el tiempopromedio de 4 minutos, pasando por el tamiz 70 obteniendo el tamaño de 0.210 mm, luego se envasó en recipientes para evitar la contaminación y ser usado en siguientes procesos.

**Figura 6**

*Proceso de selección, secado, molienda, de muestras de chilca, diente de león y cascara de tuna*



**c) Proceso de incineración de chilca (*Baccharis salicifolia*), diente de león (*Taraxacum officinale*), y cascara de tuna (*Opuntia ficus-indica*)**

Las muestras deshidratadas, fueron pesadas en los crisoles limpios y secos por triplicado,

con la ayuda de una balanza analítica de marca OHAUS, la cantidad de 5g, las cuales fueron colocadas en el horno mufla marca NABERTHEM, durante 5 horas a la temperatura de 600°C, al término de este tiempo se retiró los crisoles con las muestras del horno mufla para su enfriamiento hasta temperatura ambiente.

**Figura 7**

*Proceso de incineración de muestras de chilca, diente de león y cascara de tuna*



**d) El proceso de digestión de muestras de diente de león, cascara de tuna y chilca.**

Las muestras calcinadas fueron trasvasadas en envases de 50 mL, en los crisoles las cenizas, la primera lavada fue con 40 mL de solución ácido clorhídrico (HCl:H<sub>2</sub>O 1:3), la segunda y tercera lavada fue con 10 mL con la misma solución para luego ser vertida en recipiente de 150 mL tapando con luna de reloj para luego agregar 5 gotas (0.25 mL) de ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub> 68.5%), luego calentar en el bloque digestor digi PRI,

hasta temperatura de ebullición durante 5 minutos, al término del tiempo se dejó enfriar hasta que sea manipulable para ser transferido a un matraz volumétrico de 100 mL, para el proceso de filtrado con la ayuda de un embudo que contiene papel filtro Whatman N° 40 y lavando los residuos del vaso 3 veces con agua ultrapura para ser aforado hasta 100 mL, finalmente fue trasvasado en tubos de 50 mL para la lectura con el espectrofotómetro de absorción atómica de flama marca THERMO SCIENTIFIC IC3500 SERIES.

**Figura 8**

*Proceso de digestión y filtrado de las muestras de cáscara de tuna, diente de león y chilca.*



**e) Análisis y evaluación de concentración de metales con el equipo espectrofotómetro de absorción atómica en el laboratorio**

**Figura 9**

Análisis con el equipo espectrómetro de absorción atómica en le laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.



#### **2.2.2.3. Proceso de bioadsorción de plomo, arsénico y cadmio de la cascara de tuna, , diente de león y chilca de agua procedente de riachuelo de San Pedro de Mimoso y bocamina de Ocopa.**

Para la bioadsorción con plantas chilca (*Baccharis salicifolia*), diente de león (*Taraxacum officinale*), y cascara de tuna (*Opuntia ficus-indica*) de los elementos químicos (As, Cd y Pb), se diseñó un prototipo bioadsorbente, tomando algunas consideraciones de (Sánchez, 2014), los otros componentes fueron parte de los investigadores.

El diseño del prototipo bioadsorbente consta de una cabina de melamina móvil, en la parte superior cuenta con 3 orificios de 20 cm de diámetro que sirvió como soporte para los envases que contiene las muestras de agua y en la parte inferior también cuenta con 3

orificios del mismo diámetro que sirvió como soporte para la recepción de muestras producto del proceso de bioadsorción, siendo en ambas caras de la cabina. En la parte central cuenta con tres abrazaderas de metal móviles que sujetan los cilindros de polietileno, cuyo diámetro fue de 3 cm, los cuales contiene 200 g de grava de  $\frac{1}{2}$  pulgada, luego 130 g de arena gruesa de 3 a 5 mm de diámetro finalmente 30 g de bioadsorbente cuya granulometría fue de 0.210 mm en promedio.

La finalidad fue la simulación de un filtro para el proceso de bioadsorción. Las muestras de agua de ambas fuentes hídricas fueron alimentadas a los cilindros (filtro) por medio de mangueras de 0.5 cm diámetro, cayendo por gravedad gota a gota durante 4 horas tiempo de proceso de bioadsorción.

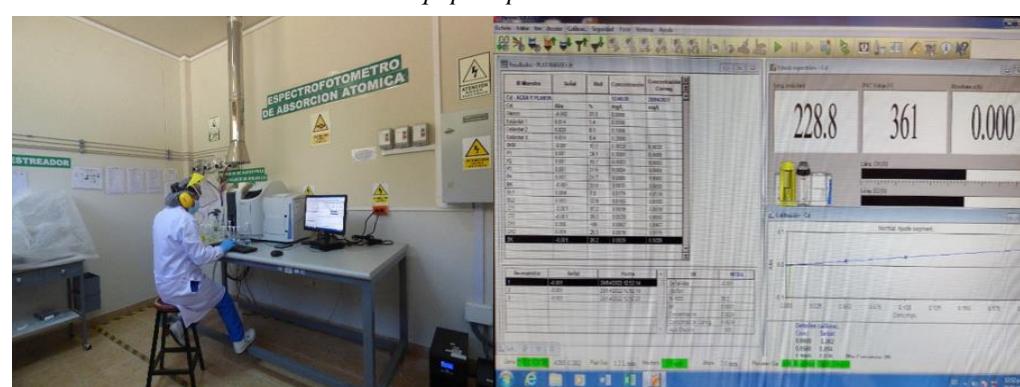
**Figura 10**

Cabina bioadsorbente y muestras de agua del proceso de bioadsorción con las plantas chilca, diente de león y cascara de tuna



**Figura 11**

Análisis de los bioadsorventes con el equipo espectrómetro de absorción atómica



### 2.3. Diseño de la investigación

Este estudio utiliza un diseño experimental, un enfoque científico destinado a identificar relaciones causales entre variables mediante la manipulación controlada de las variables independientes (en este caso, los bioadsorbentes) y la medición precisa de la variable dependiente (el contenido de arsénico, cadmio y plomo como contaminantes en los efluentes mineros). Este tipo de diseño es esencial para la investigación empírica, ya que ofrece una base sólida para tomar decisiones informadas y generar conocimiento científico. El esquema del diseño experimental es el siguiente:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Grupo de control 1: } G_{C1} & O_1 \\
 \text{Grupo de control 2: } G_{C2} & O_2 \\
 \text{Grupo experimental: } G_E & X \quad O_3
 \end{array}$$

Donde:

GE: Grupo experimental (muestras de aguas con bioadsorventes)

GC1: Grupo control 1 (muestra de aguas sin bioadsorbentes)

GC2: Grupo control 2 muestra de bioadsorbentes vegetales silvestres.

X: Variable independiente (bioadsorbentes vegetales silvestres cascara de tuna, chilca y diente de león).

O1: Estimación de la variable independiente - objeto de estudio en el grupo control 1.

O2: Estimación de la variable dependiente (Pb, As y Cd) objeto de estudio en el grupo control.

O3: Estimación de la variable dependiente (Pb, As y Cd) en el grupo experimental.

## 3 RESULTADOS

### 2.4. Resultado del diseño del prototipo de control del experimento

El diseño del prototipo bioadsorbente se llevó a cabo mediante una estructura funcional que incluye una cabina móvil hecha de melamina. En la parte superior de esta cabina, se diseñaron tres orificios de 20 cm de diámetro, los cuales sirven como soportes para los recipientes que contienen las muestras de agua a ser tratadas. De manera similar, en la parte inferior de la cabina, se encuentran tres

orificios del mismo diámetro destinados a recibir las muestras de agua tratadas después del proceso de bioadsorción.

En el centro de la cabina, se instalaron tres abrazaderas metálicas ajustables cuya función es asegurar en su lugar tres cilindros de polietileno con un diámetro de 3 cm. Estos cilindros actúan como filtros y están llenos de diferentes materiales en capas. Primero, contienen 200 g de grava de  $\frac{1}{2}$  pulgada, seguidos por una capa de 130 g de arena gruesa con un diámetro de partículas entre 3 y 5 mm. Finalmente, se añadió 30 g de bioadsorbente, con una granulometría promedio de 0.210 mm, que constituye la capa activa del sistema de filtrado.

**Figura 12**

*Cabina de bioadsorción y muestras de agua para el procedimiento de bioadsorción*



## 2.5. Resultado de parámetros medidos en campo

**Tabla 5**

*Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas*

Parámetro	Unidad	Límite
pH	--	6 - 9
Arsénico (As) total	mg/L	0,1
Cadmio (Cd) total	mg/L	0,05
Plomo (Pb) total	mg/L	0,2

*Nota. (ds\_010-2010-minam).*

**Tabla 6**

*Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Estándares ambiental ECA para agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500
Potencial de hidrógeno pH	---	6,5 – 8,5
Oxígeno disuelto	mg/L	$\geq$ 4
Temperatura	°C	$\Delta$ 3
Arsénico	mg/L	0,1
Cadmio	mg/L	0,01
Plomo	mg/L	0,05

*Nota. (DS-004-2017-MINAM.pdf)*

El propósito de este diseño fue simular un filtro adecuado para llevar a cabo el proceso de bioadsorción de contaminantes presentes en las muestras de agua. Para alimentar los filtros, se utilizaron mangueras con un diámetro de 0.5 cm, por las cuales las muestras de agua fluían por gravedad, gota a gota, durante un periodo de 4 horas, tiempo determinado para completar el proceso de bioadsorción.

Al concluir el proceso, tanto las muestras de agua tratadas como las plantas utilizadas como bioadsorbentes fueron recolectadas y sometidas a análisis, con el objetivo de evaluar la eficiencia de la bioadsorción en la remoción de contaminantes.

## 2.6. Resultado del grupo de control N° 1: Aguas de efluentes

**Tabla 7**

*Resultados del análisis de arsénico en el agua procedente de San Pedro de Mimosa y la bocamina Ocopa y antes de iniciar el proceso de bioadsorción*

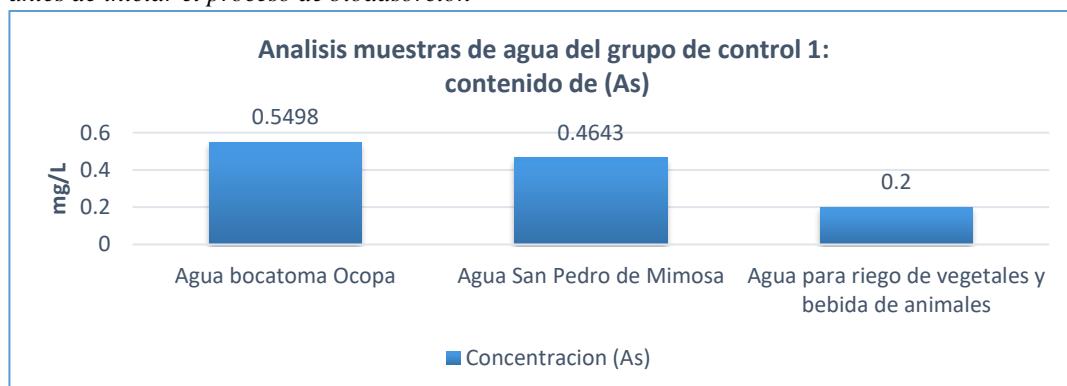
**Análisis de As en el grupo de control 1 en muestras de agua, con Límite de detección del equipo de 0,00154 (mg/L)**

Procedencia	Unidad	Valor
Efluente San Pedro de Mimosa	Mg/L	0.4643
Efluente bocamina Ocopa	Mg/L	0.5498
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Mg/L	0.2

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 13**

*Concentración de arsénico en el agua proveniente de San Pedro de Mimosa y la bocamina Ocopa y antes de iniciar el proceso de bioadsorción*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 8**

*Concentración de cadmio en el agua proveniente de la bocamina Ocopa y del riachuelo San Pedro de Mimosa antes de iniciar el proceso de bioadsorción.*

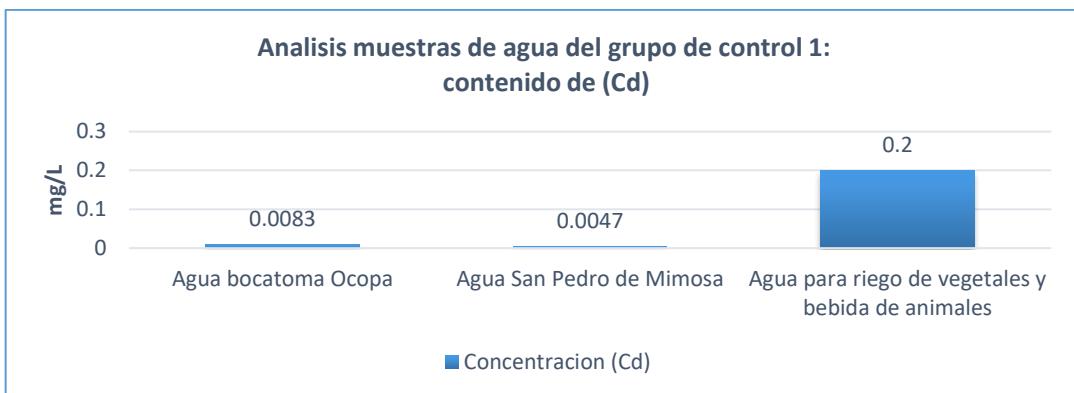
**Análisis de Cd en el grupo de control 1 en muestra de agua, con Límite de detección del equipo de 0,008 (mg/L)**

Procedencia	Unidad	Valor
Agua de San Pedro de Mimosa	mg/L	0.0047
Agua de bocamina Ocopa	mg/L	0.0083
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	mg/L	0.2

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14**

*Nivel de cadmio en el agua proveniente de la bocamina Ocopa y del riachuelo San Pedro de Mimosa previo al proceso de bioadsorción*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 9**

*Análisis de los niveles de plomo en el agua proveniente de San Pedro de Mimosa y la bocamina Ocopa y antes del proceso de bioadsorción*

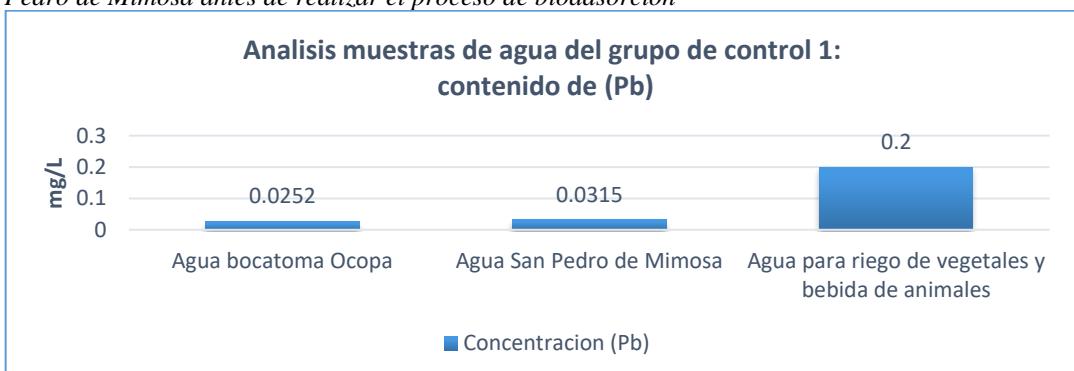
**Evaluación de Pb en el grupo de control 1 en muestra de agua, con Límite de detección del equipo de 0,0015 (mg/L)**

Procedencia	Unidad	Valor
Agua de San Pedro de Mimosa	mg/L	0.0315
Agua de bocamina Ocopa	mg/L	0.0252
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	mg/L	0.200

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 15**

*Concentración de plomo en el agua proveniente de la bocamina de Ocopa y del riachuelo San Pedro de Mimosa antes de realizar el proceso de bioadsorción*



*Nota.* Elaboración propia.

## 2.7. Resultado del grupo de control N° 2: Vegetales bioadsorventes

**Tabla 10**

*Análisis del contenido de As en vegetales silvestres (chilca, diente de león y cáscara de tuna) previo al proceso de bioadsorción.*

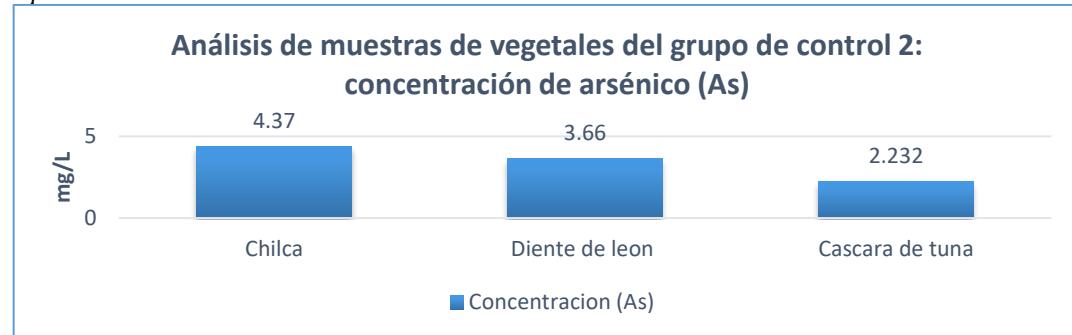
**Análisis de arsénico en el grupo de control 2 en muestras de vegetales silvestres, con un límite de detección del equipo de 0.00154 mg/kg**

Procedencia	Unidad	Valor
Diente de león	mg/kg	3.660
Chilca	mg/kg	4.370
Cáscara de tuna	mg/kg	2.232

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 16**

Concentración de arsénico en vegetales silvestres (chilca, diente de león y cáscara de tuna) previo al proceso de bioadsorción



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 11**

Análisis de los niveles de cadmio en la chilca, diente de león y cáscara de tuna, previos al proceso de bioadsorción.

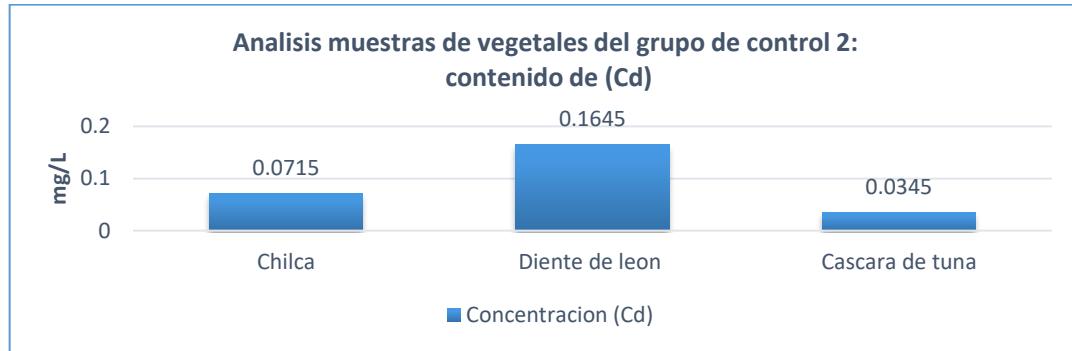
Evaluación de cadmio en el grupo de control 2 en muestras de vegetales silvestres, con un límite de detección del equipo de 0,008 mg/kg

Procedencia	Unidad	Valor
Diente de león	mg/kg	0.1645
Chilca	mg/kg	0.0715
Cáscara de tuna	mg/kg	0.0345

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 17**

Concentración de cadmio en la cáscara de tuna, chilca y diente de león, antes de iniciar el proceso de bioadsorción.



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 12**

Análisis de los niveles de plomo en la cáscara de tuna, chilca y diente de león, previos al proceso de bioadsorción.

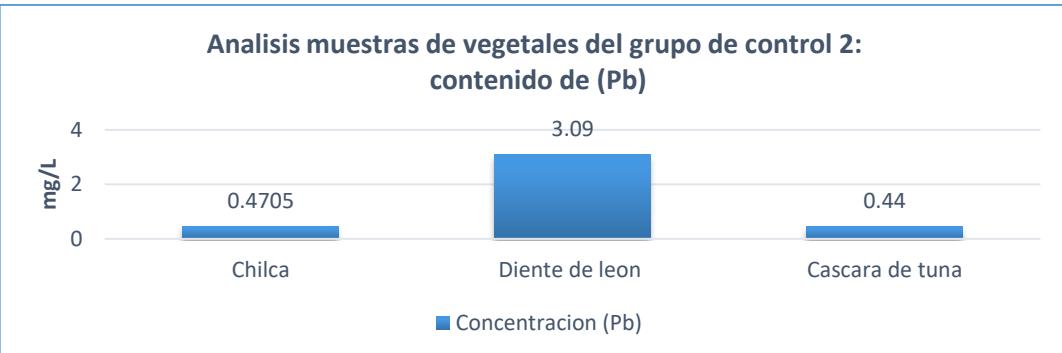
Evaluación de los niveles de plomo en el grupo de control 2 de muestras de vegetales silvestres, con un límite de detección del equipo de 0,0015 mg/kg

Procedencia	Unidad	Valor
Diente de león	mg/kg	3.0900
Chilca	mg/kg	0.4705
Cáscara de tuna	mg/kg	0.4400

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 18**

Concentración de plomo en la chilca, diente de león y cáscara de tuna, antes de llevar a cabo el proceso de bioadsorción



*Nota.* Elaboración propia.

## 2.8. Resultado del grupo experimental

### 2.8.1. Resultados de muestras de la Bocamina de ocpa

**Tabla 13**

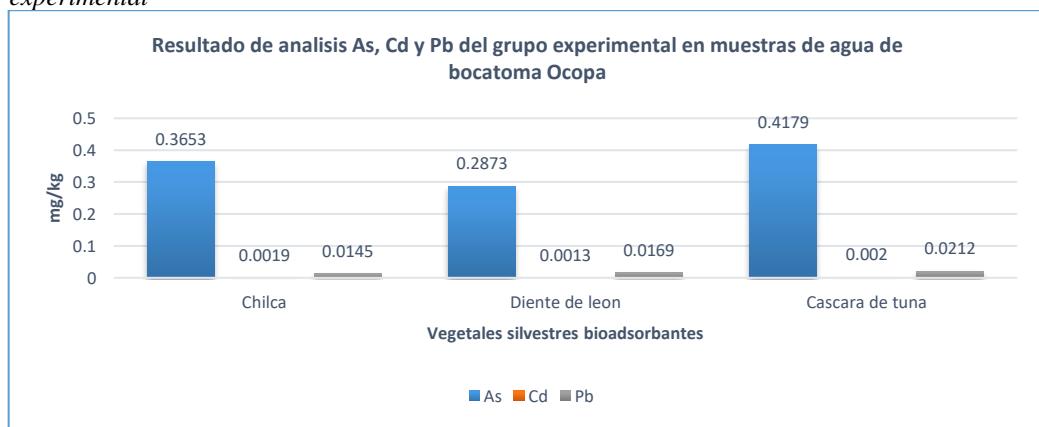
Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el agua proveniente de la bocamina Ocpa, en el grupo experimental

Planta	Unidad	N	Grupo experimental agua		
			As Media	Cd Media	Pb Media
Diente de león	mg/L	3	0.2873	0.0013	0.0169
Chilca	mg/L	3	0.3653	0.0019	0.0145
Cáscara de tuna	mg/L	3	0.4179	0.002	0.0212

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 19**

Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el agua de la bocamina Ocpa del grupo experimental



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 14**

Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en vegetales silvestres bioadsorbentes (cáscara de tuna, chilca y diente de león) del grupo experimental, provenientes de la bocatoma Mimosa

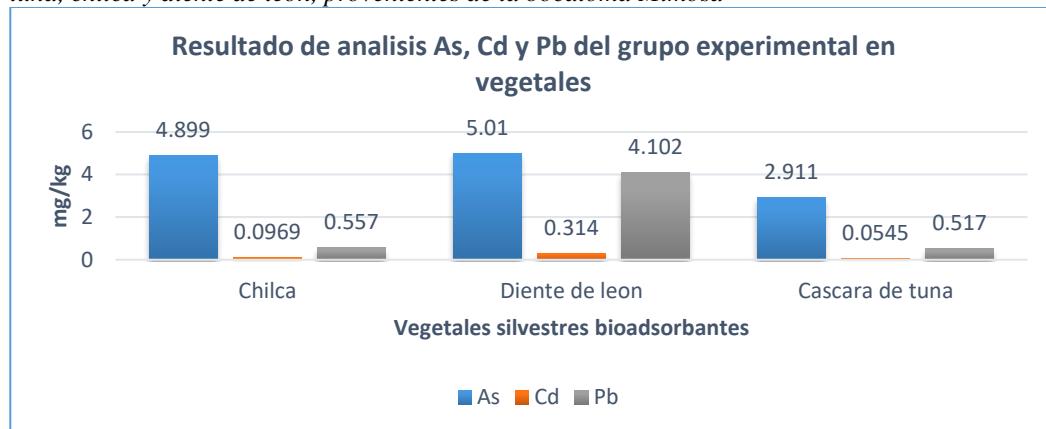
Planta	Unidad	N	Grupo experimental		
			As Media	Cd Media	Pb Media
Diente de león	mg/kg	3	5.01	0.314	4.102

Chilca	mg/kg	3	4.899	0.0969	0.557
Cascara de tuna	mg/kg	3	2.911	0.0545	0.517

**Nota.** Elaboración propia.

**Figura 20**

*Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el grupo experimental de la cáscara de tuna, chilca y diente de león, provenientes de la bocatoma Mimosa*



**Nota.** Elaboración propia.

#### 2.8.2. Resultados de muestras del efluente de San Pedro de Mimosa

**Tabla 15**

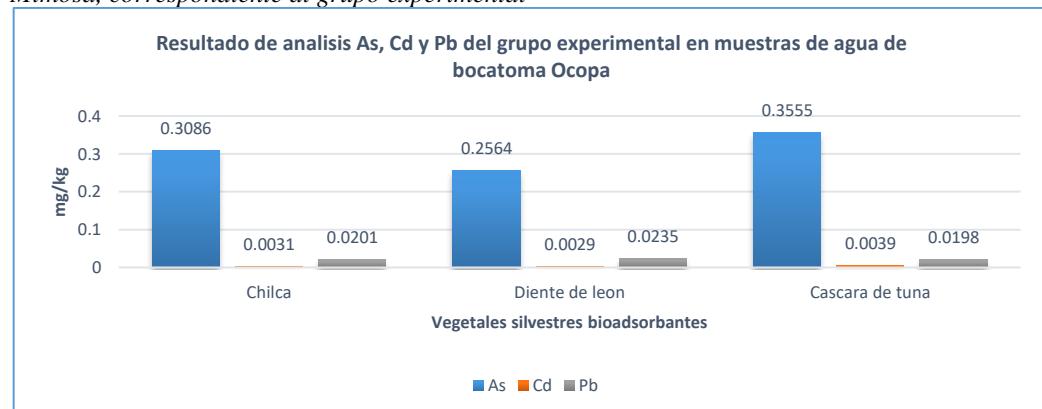
*Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el grupo experimental para el agua procedente de San Pedro de Mimosa*

Planta	Unidad	N	Grupo experimental agua		
			As Media	Cd Media	Pb Media
Diente de león	mg/L	3	0.2564	0.0029	0.0235
Chilca	mg/L	3	0.3086	0.0031	0.0201
Cascara de tuna	mg/L	3	0.3555	0.0039	0.0198

**Nota.** Elaboración propia.

**Figura 21**

*Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el agua procedente de San Pedro de Mimosa, correspondiente al grupo experimental*



**Nota.** Elaboración propia.

**Tabla 16**

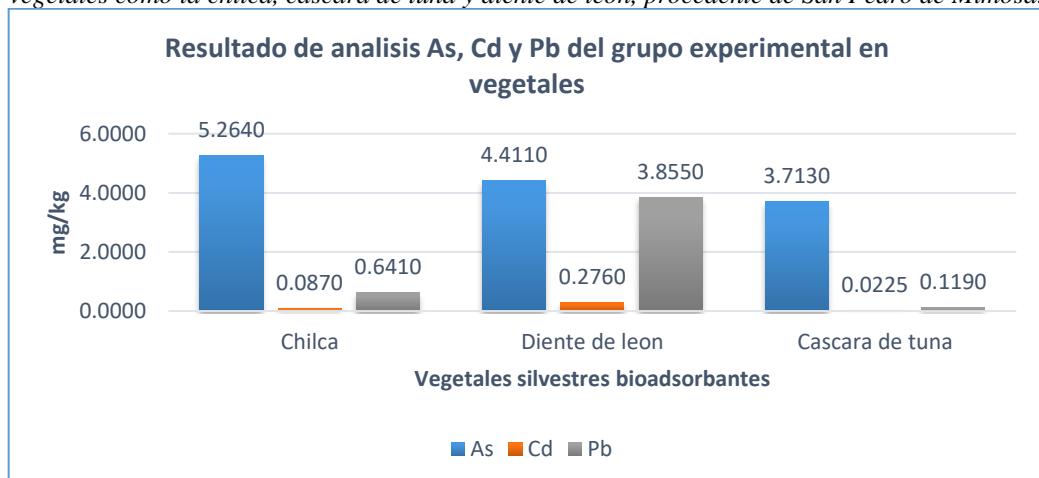
*Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en vegetales de la cáscara de tuna, chilca y diente de león, procedente de San Pedro de Mimosa, correspondientes al grupo experimental*

Planta	Unidad	N	Grupo experimental		
			As	Cd	Pb
			Media	Media	Media
Diente de león	mg/kg	3	4.4110	0.2760	3.8550
Chilca	mg/kg	3	5.2640	0.0870	0.6410
Cáscara de tuna	mg/kg	3	3.7130	0.0225	0.1190

**Nota.** Elaboración propia.

**Figura 22**

*Resultados del análisis de arsénico, cadmio y plomo en el grupo experimental, a partir de vegetales como la chilca, cáscara de tuna y diente de león, procedente de San Pedro de Mimosa.*



**Nota.** Elaboración propia.

## 2.9. Resultado de eficiencia en el agua y vegetales

### 2.9.1. Resultados de eficiencia de bioadsorción en el agua – bocamina Ocopa

**Tabla 17**

*Resultados sobre la efectividad de adsorción de los vegetales como la chilca, cáscara de tuna y diente de león en las muestras de agua de la bocatoma Ocopa*

Planta	Und	N	Grupo control			Grupo experimental			Eficiencia		
			Análisis de agua			Análisis de agua			As	Cd	Pb
			As	Cd	Pb	As	Cd	Pb			
			Media	Media	Media	Media	Media	Media	%	%	%
Diente de león	mg/L	3	0.5498	0.0083	0.0252	0.2873	0.0013	0.0169	47.74	84.34	32.94
Chilca	mg/L	3	0.5498	0.0083	0.0252	0.3653	0.0019	0.0145	33.56	77.11	42.46
Cáscara de tuna	mg/L	3	0.5498	0.0083	0.0252	0.4179	0.002	0.0212	23.99	75.90	15.87

**Nota.** Elaboración propia.

De las muestras analizadas de las aguas de bocatoma Ocopa se despende lo siguiente que en Chilca: del total de 6 muestras analizadas 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 77.11% del Cd, seguido de un 42.46% del Pb y finalmente un 33.56% del As. En diente de león: del

total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 84.34% del Cd, seguido de un 47.74% del As y finalmente un 32.94% del Pb. Y finalmente la aascaran de tuna: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo

experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 75.90% del Cd,

seguido de un 23.99% del As y finalmente un 15.87% del Pb.

**Tabla 18**

*Resultados de eficiencia en adsorción de los vegetales cascara de tuna, chilca, diente de león, en muestras de residuos de los vegetales, bocatoma Ocopa*

Planta	Und	N	Grupo control			Grupo experimental			Eficiencia		
			Análisis en vegetales			Análisis en vegetales			As	Cd	Pb
			As	Cd	Pb	Media	Media	Media			
Chilca	mg/kg	3	4.370	0.072	0.471	4.899	0.097	0.557	12.11	35.52	18.38
Diente de león	mg/kg	3	3.660	0.165	3.090	5.010	0.314	4.102	36.89	90.88	32.75
Cascara de tuna	mg/kg	3	2.232	0.035	0.440	2.911	0.055	0.517	30.42	57.97	17.50

**Nota.** Elaboración propia.

De las muestras analizadas de las plantas biadsorbentes después del experimento se encontraron los siguientes resultados:

Chilca: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 35.52% del Cd, seguido de un 18.38% del Pb y finalmente un 12.11% del As. Del diente de león: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3

del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 90.88% del Cd, seguido de un 36.89% del As y finalmente un 32.75% del Pb. Y finalmente de la cascara de tuna: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 57.97% del Cd, seguido de un 30.42% del As y finalmente un 17.50% del Pb.

#### 2.9.2. Resultados de eficiencia de bioadsorción en el agua – San Pedro de Mimosa

**Tabla 19**

*Resultados de eficiencia en adsorción de los vegetales cascara de tuna, chilca y diente de león, en muestras de aguas de San Pedro de Mimosa*

Planta	Und	N	Grupo control			Grupo experimental			Eficiencia		
			Análisis agua			análisis de agua			As	Cd	Pb
			As	Cd	Pb	Media	Media	Media			
Chilca	mg/L	3	0.4643	0.0047	0.0315	0.3086	0.0031	0.0201	33.53	34.04	36.19
Diente de león	mg/L	3	0.4643	0.0047	0.0315	0.2564	0.0029	0.0235	44.78	38.30	25.40
Cascara de tuna	mg/L	3	0.4643	0.0047	0.0315	0.3555	0.0039	0.0198	23.43	17.02	37.14

**Nota.** Elaboración propia.

De las muestras analizadas de las aguas del riachuelo San Pedro de Mimosa se presenta la siguiente interpretación de resultados:

Chilca: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 36.19% del Pb, seguido de un 34.04% del Cd y finalmente un 33.53% del As. En el diente de león: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3

del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 44.78% del As, seguido de un 38.30% del Cd y finalmente un 25.40% del Pb. Y finalmente en la cascara de tuna: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 37.14% del Pb, seguido de un 23.43% del As y finalmente un 17.02% del Cd.

**Tabla 20**

*Resultados de eficiencia en adsorción de los vegetales cascara de tuna, chilca y diente de león, en muestras de residuos de los vegetales, San Pedro de Mímosa*

Planta	Und	N	Grupo control vegetales			Grupo experimental			Eficiencia		
			As	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	Pb
			Media	Media	Media	Media	Media	Media	%	%	%
Chilca	mg/kg	3	4.3700	0.0715	0.4705	5.264 0	0.087 0	0.6410	20.46	21.68	36.24
Diente de león	mg/kg	3	3.6600	0.1645	3.0900	4.411 0	0.276 0	3.8550	20.52	67.78	24.76
Cascara de tuna	mg/kg	3	2.2320	0.0345	0.4400	3.713 0	0.022 5	0.1190	66.35	34.78	72.95

*Nota.* Elaboración propia.

De las muestras analizadas de las plantas biadsorbentes después del experimento tratadas con las aguas del riachuelo San Pedro de Mímosa, se presenta la siguiente interpretación de resultados:

Chilca: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 35.52% del Cd, seguido de un 18.38% del Pb y finalmente un 12.11 del As. En el diente de león: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de

control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 90.88% de eficiencia del Cd, seguido de un 36.89% del As y finalmente un 32.75 del Pb. Y finalmente el la cascaran de tuna: del total de 6 muestras analizados 3 del grupo de control y 3 del grupo experimental, existe una prevalencia de eficiencia del 57.97% de eficiencia del Cd, seguido de un 30.42% del As y finalmente un 17.50 del Pb.

## 2.10. Contrastación de la hipótesis

### ANOVA de un solo factor: Eficiencia vs. Vegetales Bioadsorbentes

#### Método

**Hipótesis nula**

Todas las medias son iguales

**Hipótesis alterna**

No todas las medias son iguales

**Nivel de significancia**

$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Vegetales Bioadsorbentes	2	885.8	442.9	1.00	0.379
Error	33	14634.0	443.5		
Total	35	15519.8			

*Nota.* Procesado en Minitab v19

#### Medias

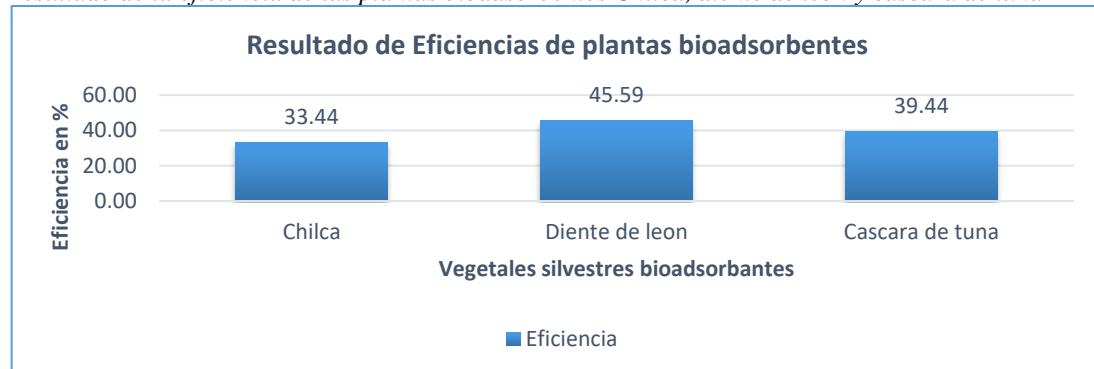
Vegetales Bioadsorbentes	N	Media eficiencia	Desviación estándar	IC de 95%
Cascara de tuna	12	39.44%	22.69	(27.08, 51.81)
Chilca	12	33.44%	16.51	(21.07, 45.81)
Diente de león	12	45.59%	23.30	(33.22, 57.96)

*Nota.* Desviación estándar agrupada = 21.0583

#### Comparaciones en parejas de Tukey

**Tabla 21***Organizar la información aplicando el método de Tukey con un nivel de confianza del 95%*

<b>Vegetales Bioadsorbentes</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Diente de león	12	45.59%	A
Casca de tuna	12	39.44%	A
Chilca	12	33.44%	A

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.**Tabla 22***Resultado de la eficiencia de las plantas bioadsorbentes Chilca, diente de león y cascara de tuna*

Por tanto, la contrastación de la hipótesis estadística con el método Tukey a una confianza de 95%, los datos de eficiencias en los tratamientos de vegetales Bioadsorbentes, en muestras analizadas de aguas y vegetales, las medias no presentan diferencias significativas.

#### 4 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las mediciones de parámetros físicos, tales como la temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto en las muestras de agua del riachuelo San Pedro de Mimosa y la bocamina Ocopa, ofrecen una visión clara de las condiciones ambientales de estas fuentes. En términos de temperatura, se registraron valores de 14.35°C para el riachuelo y 13.2°C para la bocamina, lo que proporciona un indicador inicial sobre las características térmicas de ambas fuentes de agua.

El pH, un parámetro esencial para determinar la idoneidad del agua para el riego, fue de 5.4 en el riachuelo y 5.0 en la bocamina. Estos valores están por debajo del rango recomendado para el riego agrícola, que según diversas normativas, debe estar entre 6 y 9 para suelos destinados al cultivo de vegetales. En particular, el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM establece que el pH óptimo para el uso de agua en el riego de vegetales debe estar entre 6.5 y 8.5, lo que indica que ambas fuentes de agua no cumplen con este criterio.

En cuanto a la conductividad eléctrica, los valores obtenidos fueron de 164.68 µS/cm para el riachuelo y 136.0 µS/cm para la bocamina. Estos niveles están considerablemente por debajo del límite máximo de 2500 µS/cm establecido por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM-ECA, lo que sugiere que, desde este punto de vista, el agua es adecuada para su uso en riego. La conductividad eléctrica es un parámetro que evalúa la presencia de sales disueltas, y los valores reportados son coherentes con los estándares de calidad para riego.

Los niveles de oxígeno disuelto fueron de 11.3 mg/L en el riachuelo y 9.6 mg/L en la bocamina, ambos superando el mínimo de 4 mg/L exigido por el ECA. Esto indica que ambas fuentes de agua tienen una buena capacidad para sostener procesos de oxidación-reducción, lo que refleja una condición favorable para la vida acuática y la calidad del agua.

En cuanto a la concentración de metales pesados, las muestras del riachuelo San Pedro de Mimosa revelaron niveles de arsénico de 0.4643 mg/L, superando en un 13% el límite establecido por el ECA. Además, el plomo se encontró en una concentración de 0.0252 mg/L, justo en el límite permitido, mientras que el cadmio, con 0.0083 mg/L, estuvo por debajo del límite máximo permitido. Estos resultados sugieren que el agua del riachuelo presenta un grado de contaminación significativo, especialmente en lo que respecta al

arsénico. Comparado con investigaciones previas, como el estudio de Rivera (2021), que reportó concentraciones mucho más bajas, los niveles observados en este análisis son elevados.

En cuanto a la bocamina Ocopa, las concentraciones de arsénico fueron aún mayores, con 0.5498 mg/L, superando ampliamente los límites del ECA. Sin embargo, los niveles de cadmio (0.0023 mg/L) y plomo (0.0315 mg/L) se encontraron por debajo del límite permitido, lo que sugiere una menor contaminación en estos dos metales comparado con el arsénico. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Torrance et al. (2021) en estudios de aguas contaminadas por minería artesanal.

En relación a los vegetales silvestres analizados, las concentraciones de arsénico fueron particularmente elevadas, con 3.66 mg/kg en diente de león, 2.232 mg/kg en cáscara de tuna y 4.37 mg/kg en chilca. En cuanto al cadmio, los valores encontrados fueron 0.1645 mg/kg en diente de león, 0.0345 mg/kg en cáscara de tuna y 0.0715 mg/kg en chilca. Para el plomo, las concentraciones alcanzaron 3.0900 mg/kg en diente de león, 0.4400 mg/kg en cáscara de tuna y 0.4705 mg/kg en chilca. Estos resultados, comparados con estudios como los de Santos et al. (2017) y Huaranga, et al. (2022), sugieren que estas plantas tienen una notable capacidad para acumular metales pesados, lo que las convierte en candidatas prometedoras para la fitoextracción, un proceso que podría ser aprovechado para remediar suelos y aguas contaminadas por arsénico, cadmio y plomo.

## 5 CONCLUSIÓN

La evaluación de la capacidad de bioadsorción de los tres bioadsorbentes en muestras de agua superficial de la bocatoma Ocopa arrojó resultados variados. En el caso del diente de león, se logró una eficiencia del 47.74% para la remoción de arsénico (As), 84.34% para cadmio (Cd) y 32.94% para plomo (Pb). Por su parte, la chilca mostró una efectividad del 33.56% para As, 77.11% para Cd y 42.46% para Pb. En cuanto a la cáscara de tuna, su rendimiento fue del 23.99% en As, 75.90% en Cd y 15.87% en Pb. Luego de realizar un proceso experimental adicional con agua de la bocatoma, los resultados mostraron algunas variaciones: el diente de león tuvo una eficiencia del 36.89% en la remoción de As, 90.88% en Cd y 32.75% en Pb; la chilca alcanzó solo un 12.11% en As, 35.52% en Cd y 18.38% en Pb; mientras que la cáscara de tuna incrementó su eficiencia a un 30.42% en As, 57.97% en Cd y 17.50% en Pb.

En cuanto al análisis de las aguas del riachuelo San Pedro de Mimosas, los resultados iniciales revelaron que el diente de león logró una eficiencia de bioadsorción del 44.78% en la remoción de As, 38.30% en Cd y 25.40% en Pb. La chilca mostró una efectividad del 33.53% en As, 34.04% en Cd y 36.19% en Pb. Por su parte, la cáscara de tuna presentó un rendimiento del 23.43% en As, 17.02% en Cd y 37.14% en Pb. Tras el proceso experimental con estas muestras, el diente de león redujo su eficiencia a un 20.52% en As, 67.78% en Cd y 24.76% en Pb; la chilca alcanzó un 20.46% en As, 21.68% en Cd y 36.24% en Pb; mientras que la cáscara de tuna mostró un incremento notable, con un 66.35% en As, 34.78% en Cd y 72.95% en Pb.

En conclusión, el análisis estadístico utilizando el método de Tukey con una confianza del 95% reveló que no hubo diferencias significativas en la eficiencia de bioadsorción entre el diente de león, la chilca y la cáscara de tuna. Sin embargo, a lo largo del proceso experimental, se observó que el diente de león fue el bioadsorbente más eficiente, con un rendimiento promedio del 45.59%, seguido por la cáscara de tuna con un 39.44% y la chilca con un 33.44%. Estos resultados sugieren que, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, el diente de león mostró una ligera ventaja en términos de capacidad de adsorción de metales pesados, especialmente cadmio.

## 6 REFERENCIA

Ferreira, C. G., Gonçalves, A. C., Daniel, S., Rodríguez, E. A., CRT Tarley, Dragunski, D. É., Junior, C. (2018), Eliminación de Cd(II), Pb(II) y Cr(III) del agua utilizando residuos modificados de *Anacardium occidentale* L Ciencias del agua aplicadas , 8 ( 2018 ) , p. 96

Gupta, N., Yadav, K. K., Kumar, V., Krishnan, S., Kumar, S., Nejad, Z. D., Mam, K., Alam, J. (2020), Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos y vegetales en la región del norte de la India: niveles, transferencia y análisis de riesgos potenciales para la salud humana.

Lian, G., Wang, B., Lee, X., Li, L., Liu, T., Lyu, W. (2019), Eliminación mejorada de cromo hexavalente mediante un compuesto de biocarbón diseñado fabricado a partir de fosfoyeso y granos de destilería ciencia Entorno Total. , 697 , p. 134119

- Nakkeeran, E., Patra, C., Shahnaz, T., Rangabhashiyam, S., Selvaraju, N. (2018) Evaluación de biosorción continua para la eliminación de cromo hexavalente de soluciones acuosas utilizando cáscara de fruta de *Strychnos nux vomica* Biorrecursos. *Tecnología Rep.*, 3 (2018), pp. 256 – 26
- Baccharis, S. (2021). En *Wikipedia, la enciclopedia libre.* [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Baccharis\\_salicifolia&oldid=13521201](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Baccharis_salicifolia&oldid=13521201) 5 *Baccharis salicifolia (chilca, chilca blanca—) / SIB, Parques Nacionales, Argentina.*
- (s. f.). Sistema de Información de Biodiversidad. Recuperado 27 de noviembre de 2022, de <https://sib.gob.ar/especies/baccharis-salicifolia>
- Boraah, N., Chakma, S., & Kaushal, P. (2022). Attributes of wood biochar as an efficient adsorbent for remediating heavy metals and emerging contaminants from water: A critical review and bibliometric analysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107825. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107825>
- Çeliker, M., Türkmen, S., Güler, C., & Kurt, M. A. (2019). Factors controlling arsenic and selected potentially toxic elements in stream sediment–soil and groundwater–surface water systems of a hydrologically modified semi-closed basin (Uluova) in Elazığ Province, Eastern Turkey. *Journal of Hydrology*, 569, 167-187. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.067>
- Coelho, J. M., Maria da Silva, A., José de Paula, F., Martins da Costa, J. G., Melo Coutinho, H. D., & Pereira Teixeira, R. N. (2021). Kinetic and thermodynamic study of copper (II) IONS biosorption by Caryocar Coriaceum Wittm bark. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 19, 100364. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100364>
- DS-004-2017-MINAM.pdf.* (s. f.) Recuperado 14 de diciembre de 2022, de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ds\_010-2010-minam.pdf.* (s. f.) Recuperado 13 de diciembre de 2022, de [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_010-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf)
- Fernández, M. L. & Flores, D. (2019). Remoción de metales pesados de efluentes minero-metallúrgico mediante filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas en Santa Rosa Quives, Lima. *Universidad Peruana Unión.* <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1884>
- James, A. & Yadav, D. (2021). Valorization of coconut waste for facile treatment of contaminated water: A comprehensive review (2010–2021). *Environmental Technology & Innovation*, 24, 102075. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102075>
- Laboratorio de ICP-MS / UAM.* (s. f.). Recuperado 12 de diciembre de 2022, de <https://www.uam.es/uam/sidi/unidades-de-analisis/unidad-analisis-elemental/icp-ms>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.
- Macha\_me.pdf.* (s. f.). Recuperado 12 de diciembre de 2022, de [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11630/Macha\\_me.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11630/Macha_me.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Maia, L. C., Soares, L. C. & Alves, L. V. (2021). A review on the use of lignocellulosic materials for arsenic adsorption. *Journal of Environmental Management*, 288, 112397. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112397>
- MANUAL TECNICO DE TUNA.pdf.* (s. f.). Recuperado 27 de noviembre de 2022, de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Marenco, A. R. M. (s. f.). *Estudio de diferentes bioadsorbentes como posibles retenedores de fosfatos en aguas.* 98.
- Mendoza, L. V., & Molina, N. F. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 43-60.

- Menezes, J. M. C., da Silva Bento, A. M., da Silva, J. H., de Paula Filho, F. J., da Costa, J. G. M., Coutinho, H. D. M., & Pereira Teixeira, R. N. (2020). Equilibrium, kinetics and thermodynamics of lead (II) adsorption in bioadsorvent composed by Caryocar coriaceum Wittm barks. *Chemosphere*, 261, 128144. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128144>
- Moreno-Rivas, S. C., & Ramos-Clamont Montfort, G. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155>
- Opuntia ficus-indica. (2022). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Opuntia\\_ficus-indica&oldid=146051578](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Opuntia_ficus-indica&oldid=146051578)
- Ortiz-Campillo, L., Ortiz-Ospino, L. E., Coronell-Cuadrado, R. D., Hamburger-Madrid, K., & Orozco-Acosta, E. (2019). Incidencia del clima organizacional en la productividad laboral en instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS): Un estudio correlacional. *Revista Latinoamericana de Hipertensión*. <https://bonga.unisimon.edu.co/handle/20.500.12442/3289>
- Pal, D. B., Saini, R., Srivastava, N., Ahmad, I., Alshahrani, M. Y., & Gupta, V. K. (2022). Waste biomass based potential bioadsorbent for lead removal from simulated wastewater. *Bioresource Technology*, 349, 126843. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126843>
- Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M. M. S., Rezania, S., Radwan, N., & Alam, J. (2021). Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management*, 285, 112174. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174>
- Rahman, M., Rima, S. A., Saha, S. K., Saima, J., Hossain, Md. S., Tanni, T. N., Bakar, M. A., & Siddique, M. A. M. (2022). Pollution evaluation and health risk assessment of heavy metals in the surface water of a remote island Nijhum Dweep, northern Bay of Bengal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 18, 100706. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100706>
- Salazar, N. E., & Romaní, F. R. (s. f.). *INSTITUTO NACIONAL DE SALUD*.
- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>
- Sánchez, E. J. (2014). *Propuesta de elaboración y comercialización de filtros adsorbentes para agua contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil* [Bachelor Thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8057>
- Singh, S., Kumar, V., Datta, S., Dhanjal, D. S., Sharma, K., Samuel, J., & Singh, J. (2020). Current advancement and future prospect of biosorbents for bioremediation. *Science of The Total Environment*, 709, 135895. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135895>
- Soni, R., Bhardwaj, S., & Shukla, D. P. (2020). Chapter 14 - Various water-treatment technologies for inorganic contaminants: Current status and future aspects. En P. Devi, P. Singh, & S. K. Kansal (Eds.), *Inorganic Pollutants in Water* (pp. 273-295). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818965-8.00014-7>
- Torres, A. M. (2018). Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en condiciones de invernadero, 2015—2016. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2110>
- Valderrey, J. L. M. (s. f.). *Diente de león. Taraxacum officinale*. Naturaleza y

turismo. Recuperado 27 de noviembre de 2022, de  
<https://www.asturnatura.com/especie/taraxacum-officinale.html>

Vallejo, O. (2016). *Efecto de la dispersión hídrica de arsénico, cadmio y plomo en la calidad de los sedimentos y agua superficial de la microcuenca San Miguel, Zimapán.*

<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/17067>

Yapias, R. J. M. (2022). Diente De León (*Taraxacum Officinale*) con Propiedades Medicinales: Revisión Sistemática. *Alpha Centauri*, 3(1), Art. 1.  
<https://doi.org/10.47422/ac.v3i1.64>