

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Profesional del Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos**

**“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR PLOMO Y  
CADMIO CON EL USO DE CHILCA (BACCHARIS LATIFOLIA) Y  
LLANTÉN (PLANTAGO MAJOR) EN LA QUEBRADA LECHERÍA EN  
EL CASERÍO TUMBACUCHO - PROVINCIA DE HUALGAYOC-  
CAJAMARCA 2021”**

**Tesistas:**

Bach. Cruzado Marrufo, Kely Analí.

Bach. Inostroza Ortiz Jessy Janeth.

**Asesor:**

Dr. Miguel Ángel Arango LLantoy

**Cajamarca - Perú**

**2021**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Profesional del Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**TESIS**

**“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR PLOMO Y  
CADMIO CON EL USO DE CHILCA (BACCHARIS LATIFOLIA) Y  
LLANTÉN (PLANTAGO MAJOR) EN LA QUEBRADA LECHERÍA EN  
EL CASERÍO TUMBACUCHO - PROVINCIA DE HUALGAYOC-  
CAJAMARCA 2021”**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el  
Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

**Tesistas:**

Bach. Cruzado Marrufo, Kely Analí.

Bach. Inostroza Ortiz Jessy Janeth.

**Asesor:**

Ing. Miguel Angel Arango LLontoy

**Cajamarca – Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO.**

***FACULTAD DE INGENIERÍA***

***ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y***

***PREVENCIÓN DE RIESGOS***

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS CONTAMINADAS POR PLOMO Y

CADMIO CON EL USO DE CHILCA (BACCHARIS LATIFOLIA) Y

LLANTÉN (PLANTAGO MAJOR) EN LA QUEBRADA LECHERÍA EN EL  
CASERÍO TUMBACUCHO - PROVINCIA DE HUALGAYOC-CAJAMARCA

2021.

Presidente: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Asesor: \_\_\_\_\_

COPYRIGHT © 2021 by

KELY ANALI CRUZADO MARRUFO

JESSY JANETH INOSTROZA ORTIZ

Todos los derechos reservados

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis la dedicamos en primer lugar, a Dios que nos dio la fuerza, actitud y sabiduría para afrontar las adversidades presentadas y llegar a cumplir nuestra meta trazada.*

*A mis padres Hormecinda Marrufo Regalado y Sixto Cruzado Vásquez, mi hijo Jheremy, mi compañero de vida Edinson Bautista Ruiz y Hermanas ya que me brindaron el apoyo incondicional y fueron el soporte primordial para poder culminar esta etapa profesional.*

**Kely Analí Cruzado Marrufo**

*A mi madre Bertha Ortiz García y su compañero de vida Isidro Rodas Zafra por ser parte fundamental en mi formación académica brindando su apoyo incondicional, haber hecho de mí una persona con valores, principios y por creer en mí en todo momento.*

*A mis hermanos, tíos y demás familiares por brindarme todo su apoyo, por ser el mejor ejemplo para seguir sus pasos y luchar hasta alcanzar mis metas.*

**Jessy Janeth Inostroza Ortiz**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por darnos la salud y fuerza para poder llegar a este momento esperado. A la UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO por haber abierto las puertas para poder cumplir nuestro sueño profesional, a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos por brindarme las enseñanzas para poder enfrentar el mundo profesional. Al Ing. Miguel Ángel Arango Llontoy por su apoyo, su tiempo, su conocimiento, sus consejos y sobre todo su amistad para lograr este objetivo.

Gracias a nuestros padres por ser los pilares fundamentales, por creer en nosotros, apoyarnos en todo momento por los consejos valores y principios que nos han inculcado.

A cada una de las personas que nos brindaron su apoyo para que se haga realidad este sueño anhelado, por lo cual quisiéramos agradecer por su apoyo moral, emocional y físico.

## INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRACT.....	XI
CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Justificación e importancia.....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Teorías que sustentan la Investigación.....	4
2.2. Marco teórico .....	9
2.2.1. Agua .....	9
2.2.2. Calidad de agua .....	9
2.2.3. Contaminación del agua .....	10
2.2.4. Drenaje ácido de minas (DAM).....	11
2.2.4.1. Formación de aguas ácidas .....	11
2.2.4.2. Factores que influyen en el proceso de formación de aguas ácidas .....	12
2.2.4.3. Tipos de tratamiento para el drenaje ácido de minas .....	13
2.2.5. Metales pesados .....	14
2.2.5.1. Plomo.....	16
2.2.5.2. Cadmio .....	18
2.2.6. Legislación en materia de aguas contaminadas .....	20
2.2.7. Fitorremediación .....	22
2.2.7.1. Mecanismos de la fitorremediación.....	23
2.2.7.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación .....	27
2.2.7.3. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación.....	28
2.2.7.4. Transporte de metales pesados a las plantas.....	28
2.2.7.5. Fitorremediación de cadmio .....	29

2.2.7.6. Fitorremediación de plomo.....	31
2.2.7.7. Disposición de los sub-productos del proceso de fitorremediación.....	33
2.2.8. Descripción de las especies vegetales.....	33
2.2.8.1. La chilca (Baccharis Latifolia) .....	33
2.2.8.2. Fitorremediación con chilca Baccharis Latifolia .....	36
2.2.8.3. Llantén (Plantago Major) .....	37
2.2.8.4. Fitorremediación con plantago mayor.....	40
2.2.9. Humedales artificiales .....	40
2.2.9.1. Tipos de humedales artificiales.....	41
2.3. Marco conceptual.....	43
2.4. Hipótesis de la investigación .....	45
2.4.1. Operacionalización de las variables .....	45
<b>CAPITULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>46</b>
3.1. Tipo de investigación.....	46
3.4. Población .....	50
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>53</b>
4.1. Resultados .....	53
4.2. Discusión .....	83
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>
<i>ANEXO A.....</i>	<i>96</i>
<i>ANEXO B.....</i>	<i>109</i>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tabla periódica señalando metales pesados contaminantes .....	15
<b>Figura 2.</b> Plantas acuáticas posibles reductoras de contaminantes .....	23
<b>Figura 3.</b> Humedal de flujo superficial (HFS).....	41
<b>Figura 4.</b> Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal .....	42
<b>Figura 5.</b> Humedal artificial de flujo horizontal.....	43
<b>Figura 6.</b> Mapa de ubicación del humedal artificial y el punto de muestreo de agua en la quebrada Lechería- Caserío Tumbacuho. ....	48
<b>Figura 7.</b> Mapa de diseño de humedales artificiales.....	49
<b>Figura 8.</b> Comparación de la media de los resultados del plomo con los ECA para agua (D.S. 004-2017 MINAM).....	56
<b>Figura 9.</b> Comparación de la media de los resultados de cadmio con los ECA para agua (D.S. 004-2017 MINAM).....	57
<b>Figura 10.</b> Diseño de los humedales .....	58
<b>Figura 11.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM) en el humedal con Plantago Major. ....	61
<b>Figura 12.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017 MINAM) en el humedal con Baccharis Latifolia.....	63
<b>Figura 13.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM) en el humedal Mixto. ....	64

<b>Figura 14.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM) en el humedal con Plantago Major.....	65
<b>Figura 15.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) en el humedal con Baccharis Latifolia .....	66
<b>Figura 16.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat.3) en el humedal Mixto.....	68
<b>Figura 17.</b> Reducción del plomo en los tres humedales.....	69
<b>Figura 18.</b> Reducción del plomo en los tres humedales.....	70
<b>Figura 19.</b> Promedio del porcentaje de remoción de plomo y cadmio en el sistema de humedales.....	71
<b>Figura 20.</b> Campana de Gauss para muestras relacionadas del parámetro plomo.....	75
<b>Figura 22.</b> Campana de Gauss para muestras relacionadas del parámetro cadmio. ....	79

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Efectos de los usos del agua sobre su calidad .....	9
<b>Tabla 2.</b> Comportamiento de los contaminantes en el aire, agua y suelo.....	10
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de metales pesados .....	16
<b>Tabla 4.</b> Legislación peruana en materia de aguas contaminadas.....	22
<b>Tabla 5.</b> Uso de técnicas de fitorremediación para diferentes contaminantes .....	26
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas de la fitorremediación. ....	27
<b>Tabla 7.</b> Clasificación taxonómica de Baccharis Latifolia .....	34

<b>Tabla 8.</b> Clasificación taxonómica de Plantago Major .....	37
<b>Tabla 9.</b> Operacionalización de variables.....	45
<b>Tabla 10.</b> Ubicación del humedal artificial .....	50
<b>Tabla 11.</b> Técnicas, instrumentos y procesamiento de datos.....	50
<b>Tabla 12.</b> Diseño de toma de muestras iniciales en la Quebrada Lechería .....	54
<b>Tabla 13.</b> Media de los resultados del plomo de las muestras iniciales .....	55
<b>Tabla 14.</b> Media de los resultados del cadmio de las muestras iniciales.....	55
<b>Tabla 15.</b> Comparación de los resultados de la media de las muestras iniciales con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM. Cat.3).....	55
<b>Tabla 16.</b> Datos para el cálculo del tiempo de retención.....	59
<b>Tabla 17.</b> Diseño de toma de muestra de agua tratada mediante los humedales artificiales.	59
<b>Tabla 18.</b> Resultados del análisis de las muestras de agua de la Quebrada Lechería .....	60
<b>Tabla 19.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después con los ECA para agua (D.S.004-2017-MINAM, Cat.3) mediante el humedal con Plantago Major. ....	60
<b>Tabla 20.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM) mediante el humedal con Baccharis Latifolia .....	62
<b>Tabla 21.</b> Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal mixto. ....	63
<b>Tabla 22.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal con Plantago mayor. ....	64
<b>Tabla 23.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA(D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal con Baccharis Latifolia.....	66

<b>Tabla 24.</b> Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento mixto con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal mixto.....	67
<b>Tabla 25.</b> Reducción de plomo en los tres humedales .....	68
<b>Tabla 26.</b> Reducción de la concentración de cadmio en los tres humedales .....	69
<b>Tabla 27.</b> Resultado del promedio del porcentaje de remoción de plomo y cadmio en los humedales artificiales.....	71
<b>Tabla 28.</b> Resultados del análisis de los metales plomo y cadmio en las plantas .....	72
<b>Tabla 29.</b> Resultados de absorción de metales totales en plantas .....	73
<b>Tabla 30.</b> Prueba de normalidad de la diferencia del antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del plomo .....	73
<b>Tabla 31.</b> Prueba de Scheffé para comparación de tratamientos antes y después de los tratamientos para reducción de plomo. ....	77
<b>Tabla 32.</b> Prueba de normalidad para el antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del cadmio en el agua.....	78
<b>Tabla 33.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas entre tratamientos antes y después para reducción de cadmio. ....	80
<b>Tabla 34.</b> Prueba de muestras relacionadas para el antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del cadmio en el agua .....	80
<b>Tabla 35.</b> Prueba de Scheffé para comparación de tratamientos antes y después de los tratamientos para reducción de cadmio.....	82

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografía 1.</b> Señalización del terreno para la construcción de humedales .....	97
<b>Fotografía 2.</b> Exacavación de hoyos para los humedales .....	98
<b>Fotografía 3.</b> Colocado de material grava previamente lavada a 20 cm.....	99
<b>Fotografía 4.</b> Colocado de cal en los humedales a 15 cm.....	100
<b>Fotografía 5.</b> Colocado del sustrato en los humedales a 30 cm .....	101
<b>Fotografía 6.</b> Adopción de la especie baccharis latifolia .....	102
<b>Fotografía 7.</b> Adopción de la especie baccharis latifolia y plantago major en el humedal mixto. ....	103
<b>Fotografía 8.</b> Inundación de los tres humedales .....	104
<b>Fotografía 9.</b> Colocado de techo a los humedales .....	105
<b>Fotografía 10.</b> Recolección de la muestra inicial antes del tratamiento.....	106
<b>Fotografía 11.</b> Recolección de muestras obtención de resultado final .....	107
<b>Fotografía 12.</b> Recolección de especies vegetales de los humedales para análisis de laboratorio. ....	108

## RESUMEN

La presente investigación titulada Tratamiento de las aguas contaminadas por plomo y cadmio con el uso de Chilca (*Baccharis latifolia*) y Llantén (*Plantago major*) en la quebrada lechería en el caserío Tumbacucho - provincia de Hualgayoc - Cajamarca 2021, se desarrolló en la propiedad de la empresa CIEMAM S.A.C en el caserío Tumbacucho, Hualgayoc, el cual tiene como objetivo determinar el nivel de reducción de la contaminación por plomo y cadmio en el tratamiento de aguas mediante el uso de especies vegetales *Baccharis latifolia* y *Plantago major* .

Para lo cual se diseñó y construyó un sistema de humedal piloto utilizando el proceso de tipo batch con materiales filtrantes (grava, caliza y sustrato) y las especies vegetales ya mencionadas, las cuales serán sometidas a un estudio mediante sistemas de tratamientos individuales y combinado. El resultado del estudio se comparó con los ECA aprobado por el D.S. 004-2017 MINAM., en la categoría 3. El análisis de datos se realizó mediante la prueba T- Student.

Los resultados del estudio demostraron que no hubo una reducción significativa de la concentración de plomo, pues se logró reducir un promedio de 55% con respecto a la muestra inicial, pero no llega a estar está dentro de los ECA para agua; a diferencia del cadmio del cual se obtuvo un porcentaje de remoción de más del 90 %. Concluyendo que el tratamiento fue más eficaz con respecto al cadmio.

**Palabras clave:** Fitorremediación, especies vegetales, metales tóxicos, humedal artificial, concentración de metales, Estándar de calidad de Agua.

## ABSTRACT

*The present research entitled treatment of water contaminated with lead and cadmium with the use of chilca (*Baccharis latifolia*) and plantain (*Plantago major*) in the dairy stream of the hamlet of Tumbacucho - province of Hualgayoc - Cajamarca 2021, was developed in the property of the company CIEMAM S. A.C. in the hamlet of Tumbacucho, Hualgayoc, which aims to determine the level of reduction of lead and cadmium contamination in water treatment using chilca (*Baccharis latifolia*), plantain (*Plantago major*).*

*For this purpose, a pilot wetland system was designed and constructed using the batch process with filtering materials (gravel, limestone and substrate) and the aforementioned plant species, which will be subjected to a study using individual and combined treatment systems. The results of the study were compared with the RCTs approved by D.S. 004-2017 MINAM, in category 3. Data analysis was performed using the T- Student test.*

*The results of the study showed that there was no significant reduction in the concentration of lead, since an average reduction of 55% was achieved with respect to the initial sample, but it does not reach the FCT, unlike cadmium, for which a removal percentage of over 90% was obtained. It is concluded that the treatment was more effective with respect to cadmium.*

*Keywords: Phytoremediation, plant species, toxic metals, artificial wetland, metal concentration, Water Quality Standard.*

## CAPITULO I: INTRODUCCION

### 1.1. Planteamiento del problema.

Uno de los problemas más evidentes nuestro país es la contaminación de las aguas de los ríos, lagunas y lagos que a lo largo de los años ha sido causado por diversos factores, por un lado, las actividades mineras, por otro a las ciudades, las cuales deterioran la calidad del agua.

La minería antigua y moderna ha ido dejando una serie de pasivos ambientales que de alguna u otra manera afecta a la calidad del agua. En el último inventario del año 2016 se registró 8,854 PAM. Cajamarca es la segunda región con el mayor número de PAM a nivel nacional (después de Ancash): son 1,183 pasivos ubicados en esta región y la gran mayoría se concentran precisamente en el distrito de Hualgayoc (1,067 PAM) siendo este el distrito con el mayor número de pasivos mineros a nivel nacional y a nivel de cuencas, la del Llaucano figura como la segunda más afectada a nivel nacional. Además, también están afectados los ríos Tingo-Maygasbamba, Hualgayoc-Arascorgue y quebradas que alimentan dichos ríos. (Echave, 2019)

Precisamente las aguas de la quebrada Lechería nacen en uno de los componentes de la minería antigua de la zona de estudio, denominada mina Imasilsa. Sus aguas recorren aproximadamente 1km hasta llegar a unirse con el río Hualgayoc – Arascorgue, durante su recorrido se unen a ella diversas fuentes de agua que nacen en la zona (pequeños manantiales, riachuelos), así como aguas ácidas de drenaje de las bocaminas del sector San Agustín propiedades de CIA Minera Colquirrumi en épocas de lluvia.



El problema radica en que en dicha agua es utilizada por los pobladores para riego y bebida de animales sin ningún tipo de tratamiento, pues en ella se ha encontrado la presencia de metales pesados como hierro, níquel, cadmio, plomo, etc., situación que pone en riesgo la salud pública, ya que los contaminantes se estarían introduciendo en la cadena trófica.

Bajo ese contexto es que se estimula el desarrollo de nuevas tecnologías, dado el aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos en el tratamiento de aguas contaminadas. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos con el que se describió anteriormente.

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida el tratamiento mediante el uso de Chilca (*Baccharis latifolia*) y Llantén (*Plantago major*) reducirá la concentración de plomo y cadmio en las aguas de la Quebrada Lechería en el Caserío Tumbacucho provincia de Hualgayoc - Cajamarca 2021?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el nivel de reducción de la contaminación por plomo y cadmio en el tratamiento de aguas con el uso de Chilca (*Baccharis latifolia*) y Llantén (*Plantago major*) en la Quebrada Lechería en el Caserío Tumbacucho provincia de Hualgayoc - Cajamarca 2021.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema de tratamiento mediante humedales artificiales para las aguas ácidas de la quebrada Lechería mediante el uso de las especies *Plantago major* y *Baccharis latifolia*.
- Describir el nivel de la contaminación por plomo y cadmio antes del tratamiento de aguas con el uso de *Baccharis latifolia* y *Plantago major* en la quebrada Lechería en el caserío Tumbacucho, provincia Hualgayoc – Cajamarca 2021.
- Comparar los resultados obtenidos del análisis del plomo y cadmio después del tratamiento con el uso de *Baccharis latifolia*, *Plantago major* y tratamiento mixto con los valores del ECA (D.S 004 – 2017 MINAM categoría 3).

### **1.4. Justificación e importancia**

La provincia de Hualgayoc es una de las provincias de Cajamarca más afectadas por la actividad industrial. Aquí se registra el 85% de PAM, significa que esta provincia es una de las más contaminadas por efectos de la minería “moderna y responsable”, así como también pasivos ambientales de la denominada “vieja minería” a los que se lo conocen como pasivos “huérfanos”. Es el caso de la mina Imasilsa así como otros pasivos del caserío, lo preocupante es que las autoridades de la zona no han impulsado ningún tipo de tratamiento para estas aguas de drenaje que salen de tales pasivos, que como se ha mencionado anteriormente son usadas para riego de cultivos y bebida de animales. Por tal motivo se desarrolla la presente investigación con el propósito de plantear una

alternativa de solución al problema antes descrito. El uso de plantas propias del lugar para disminuir la concentración de metales en el agua (fitorremediación) es un gran avance que ha tomado mucha importancia a nivel mundial.

La fitorremediación es una de las técnicas más prometedoras para remediar suelos y aguas contaminadas por metales pesados, sin embargo, es aún una tecnología con poca información y resultados, debido a que los proyectos son a largo plazo, pues esta tecnología depende del crecimiento de las plantas, la actividad biológica y las condiciones climáticas. Pero por ventajas como su bajo costo de ejecución y la técnica se adecua de forma natural a diferentes contextos, lo hace ser una técnica más favorable a diferencia del tratamiento químico y físico.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Teorías que sustentan la Investigación**

**Según (Roncal, 2008) en su trabajo de investigación denominado “Identificación de bioindicadores vegetales de la contaminación por plomo y cobre en suelos de las pozas de tratamiento de relave minero en la microcuenca del sector Samne” utilizó para su estudio a diferentes plantas indicadoras de contaminación por plomo y cobre en las pozas de tratamiento utilizadas hasta la década de 1990 por la compañía Minera Mache S.A. en el distrito de Samne (Otuzco), donde determinó que la especie *N. solanifolia* “Tabaco”, *P. australis* “Carricillo”, *A. pungens* “Hierba blanca” *L. nodiflora* “turre”, *G.***

sagittatum “caña brava”, **B. salicifolia “chilco”**, y *C. virgata* “grama” presentan una tendencia a ser resistentes y acumular tanto plomo como cobre presentes en el relave, por lo cual se puede concluir que mediante el uso de la vegetación natural con fines de fitorremediación es altamente eficaz para la mitigación de la contaminación por metales pesados para nuestro país.

**Según (Romeh, 2015) en su estudio denominado “Evaluación del potencial fitorremediador de tres especies vegetales para suelos contaminados con azoxistrobina”** analizó las especies **Plantago major L.**, *Helianthus annuus L.* y *Glycine max L.* para limpiar suelos en condiciones de laboratorio. Los resultados mostraron que las raíces de *G. max* fueron un acumulador eficiente de azoxistrobina (25,32 mg/kg), seguidas de las raíces de *P. major* (20,62 mg/kg) y *H. annuus* raíces (18,29 mg/kg), dentro de los 10 días, respectivamente. En las hojas, la azoxistrobina se translocó significativamente en las hojas de *P. major* y alcanzó el máximo después de 10 días de exposición (15,03 mg/kg). El ácido de azoxistrobina se acumuló significativamente en las raíces de *P. major* más que en las raíces de *G. max* y *H. annuus*.

**Según Ferniza et al., (2017) en su trabajo de investigación denominado “Eliminación de Pb, Cu, Cd y Zn presentes en una solución acuosa mediante un tratamiento acoplado de electrocoagulación-fitorremediación”** concluyó que para la aplicación de fitorremediación se emplearon macrófitos, *Typha latifolia.*, durante siete días de tratamiento. Los valores de remoción fueron: Cu (99.2%), Cd (82.7 a 89.3%) y Pb (99.4%). *Typha latifolia L.* es tolerante a las concentraciones residuales de la mezcla de

metales presentes en el agua electro coagulada, como lo demuestra el contenido de pigmentos (clorofila y caroteno) en la planta.

**Según Cepeda (2018), en su trabajo de investigación titulado: “Determinación de la capacidad biorremediadora de las especies *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers Y *Verbesina crassiramea* S.F. Blake sobre suelos contaminados con arsénico”** concluyó que los resultados sólo la especie *B. latifolia* cuenta con características para acumular metales pesados en sus diferentes órganos.

La especie *B. latifolia*, presentó una alta remoción de arsénico en la concentración de 10 ppm indicando en este caso una eficiencia del 81% con respecto a la concentración encontrada en el suelo. En el estudio se determinó que la especie *Baccharis latifolia* es una especie biorremediadora debido a que presentó características que indican esta capacidad.

**Según Vega (2018), en su trabajo de investigación titulado: “Capacidad de fitoacumulación de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) utilizando las especies de chocho silvestre (*Lupinus tomentosus*) y llantén (*Plantago major*) del relave de la planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”; Huaraz – Ancash – 2017”** evaluó a estas especies en cinco tratamientos. Los tratamientos analizados tienen pH ácido en un rango de (4.61 -5.23); en caso de *Plantago Major* esta especie acumuló mayor concentración de Zn en un (pH - 4.65) y en caso de Pb en un (pH – 5.23) en ambos casos la especie acumuló mayor concentración en la parte de la raíz.

La especie *Plantago Major* entonces tiene la capacidad de acumular más Zn y Pb en la raíz de la planta que en la parte aérea, dando como resultado de (364 – 222) mg/kg respectivamente. Por lo tanto, se sugiere esta especie como exclusoras y se recomienda para estudio de fitoestabilización de Zn y Pb.

**Según Lopez (2018) en su trabajo de investigación denominado “Administración estratégica en la calidad del efluente obtenido con el tratamiento a las aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S.A”** logró resultados positivos con la especie *typha latifolia* ya que los valores del efluente final se encuentran por debajo de los LMP de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas - DS N° 010-2010-MINAM. Las reducciones medias obtenidas en dicho efluente con respecto al influente al sistema, se pueden resumir de la forma:  
Reducción del contenido en plomo en un 94.96%, Incremento de pH en 5.82 unidades.

**Según Jimenez & Ramos (2019), en su trabajo de investigación “Evaluación de la eficiencia fitorremediadora de *Lupinus pubescens*, *Plantago major* y *Scirpus californicus* en suelos contaminados con arsénico”** concluyó que la aplicación de *Scirpus californicus* y *Plantago major* en suelo contaminado con arsénico favoreció la remoción del metaloide, demostrando su capacidad fitorremediadora como una alternativa limpia, segura y amigable con el medio ambiente. *Plantago major* no es recomendable en suelos con elevada humedad pues tiende a mostrar estrés hídrico en sus raíces, además presenta un ciclo corto de vida, muriendo a los 5 meses de su aplicación.

**Según Cueva & Huallane (2019) en su proyecto de investigación denominado “Fitorremediación con Taraxacum officinale asistida con micorrizas para la remoción de cadmio en suelos contaminados, 2019”** concluyó que la especie taraxacum officinale (Diente de león), especie que pertenece a la familia **Asteraceae** es eficiente en la fitorremediación de suelos contaminados con cadmio ya que el factor de translocación permitió clasificarla como hiperacumuladora en las partes aéreas, a comparación del factor de bioconcentración que no la clasifíco como estabilizadora. La especie taraxacum officinale es una planta ideal para tratamiento de fitorremediación, en bajas concentraciones de contaminantes, al largo del proyecto pudo adecuarse a niveles altos de toxicidad, desarrollándose sin presentarse problemas en su desarrollo vegetativo.

**Según Mostacero et al., 2021 en su trabajo de investigación “Identification, Mapping and Ethnobotany of Plant Species in the Peruvian High Andean Wetlands: Stimulating Biodiversity Conservation Efforts towards Sustainability”** obtuvo como resultados que la familia con mayor representatividad dentro de las que fueron estudiadas fue la familia Asteraceae, en total las especies que tienen potencial de fitorremediación representan un 62,5%, para los humedales altoandinos del Perú; y es que son las especies enmarcadas dentro de estas familias; las que presentan esa potencialidad de captar, acumular y /o metabolizar contaminantes presentes en agua, suelo o aire; por lo que se concluye que la técnica de fitorremediación actualmente se constituye como una tecnología eficiente y sostenible para la depuración de ecosistema.

**Según Chan et al., 2021 en su estudio denominado “Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México”** analizó a 53 familias, de las cuales las familias con mayor representatividad fueron Fabaceae (31), Asteraceae

(9) dentro de la cual tenemos a *B. salicifolia*, la cual absorbe metales pesados como plomo, arsénico y cobre, junto a las especies *Cyperaceae* (9) y *Solanaceae* (7), el resto solo presentó entre una y cuatro especies. Estas especies se reportan creciendo y desarrollándose en suelos y sistemas acuáticos contaminados por HP y metales pesados.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Agua

El agua es un elemento de vital importancia para todos los seres vivos en general, la encontramos distribuida por todo el planeta cubriendo aproximadamente el 72% de la superficie terrestre, este elemento es esencial para el planeta ya que gracia a él se cumple un ciclo de vida y podemos satisfacer nuestras necesidades. (Jaramillo & Flores, 2012)

### 2.2.2. Calidad de agua

Ya conocemos la importancia de la cantidad del agua, al igual que esta la calidad tiene básicamente tiene la misma importancia, cuando el agua es una vez utilizada la mayor parte de ella regresa a su cauce original, pero con su calidad degradada debido al mal uso que se le ha dado en las actividades de cualquier origen. La siguiente tabla muestra los detalles:

**Tabla 1.** *Efectos de los usos del agua sobre su calidad.*

Usos	Efectos sobre la calidad del agua
Doméstico/industrial	Disminución del oxígeno disuelto.



<b>Industria/minería</b>	Disminución del oxígeno contaminación del agua con compuestos orgánicos; drenaje minas.
<b>Termoeléctrica</b>	Incremento de la temperatura del agua.
<b>Irrigación/residuos Animales</b>	Salinización del agua superficial y agua subterránea, disminución del oxígeno disuelto.

**Fuente:** Spiro Thomas, Química medioambiental, 2007

### 2.2.3. Contaminación del agua

La contaminación de agua es una modificación que se realiza a dicho recurso después de haber sido usada, es decir la alteración de su calidad causada generalmente por el hombre, provocando que pueda ser peligrosa para el consumo humano, la agricultura, la industria, la pesca y las actividades recreativas, así como la vida de los animales y la vida natural. (Carta del Agua, Consejo de Europa, 1968)

Actualmente suman otros contaminantes como los pesticidas y bionutrientes, teniendo en cuenta a los metales, policlorobifenilos (PCBs), dioxinas e hidrocarburos. El tiempo de residencia de los contaminantes se muestra a continuación:

**Tabla 2.** *Comportamiento de los contaminantes en el aire, agua y suelo.*

<b>Elemento</b>	<b>Tiempo de residencia</b>	<b>Uniformidad de la dispersión</b>	<b>Daño a organismos</b>
<b>Aire</b>	Bajo	Alta	Bajo a medio
<b>Agua</b>	Medio	Media	Alto
<b>Suelo</b>	Alto	Baja	Medio a alto

Fuente: (Bautista, 1999)

#### **2.2.4. Drenaje ácido de minas (DAM)**

El DAM es un efluente que resulta luego de haber sido usada, se le llama drenaje ácido de mina que es la emisión p formación de aguas con gran acidez y que por lo general son ricas en sulfatos y con metales pesados en cantidades variables. Dicho drenaje nace a partir de la lixiviación de sulfuros metálicos y/o de la pirita presente en los carbonos, aquí existen dos fuentes principales:

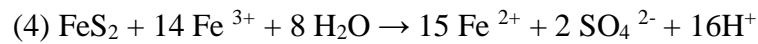
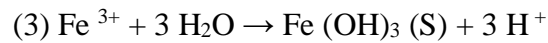
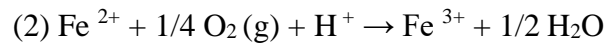
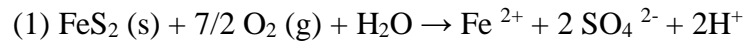
- 1) El mineral sulfurado “in situ” (causa no antropogénica)
- 2) Las escombreras (mineral dumps). (Villaseñor , 2002)

##### **2.2.4.1. Formación de aguas ácidas**

Según Nordstrom & Alpers (1999) uno de los principales factores para la formación de aguas ácidas es la oxidación de la pirita, este proceso se acelera normalmente en zonas mineras, puesto que el aire entra en contacto con mayor facilidad con los sulfuros a través de las labores de acceso, unido a ello el cambio de composición química y el incremento de la superficie de contacto en las partículas. De igual forma, otros factores como los procesos físicos, químicos y biológicos influyen la generación, movilidad y

atenuación de la contaminación de las aguas. El volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución de la pirita son los factores que más afectan a la generación ácida.

Las reacciones que intervienen para oxidación de la pirita serán esquematizadas por las siguientes cuatro ecuaciones:



#### 2.2.4.2.

#### **Factores que influyen en el proceso de formación de aguas ácidas.**

Aduvire (2006), resaltó que la cantidad y calidad de un drenaje ácido depende de las características fisicoquímicas de los materiales con lo que tienen contacto los flujos de agua. A continuación, se mencionan los factores que afectan la geoquímica de las aguas ácidas provenientes de minería:

- La velocidad de reacción de los sulfuros como la pirita.
- La oxidación e hidrólisis de Fe disuelto, así como de otros elementos.
- La capacidad de neutralización de minerales, así como de materiales.
- Capacidad de neutralización de las aguas carbonatadas.
- Transporte de oxígeno y movilidad de agua.

- El clima y la temperatura.

Por lo cual podemos decir que para que exista la formación de aguas acidas se tiene que tener las siguientes condiciones: presencia de agua, oxígeno y Fe en suficiente cantidad, el tiempo y la presencia de bacterias.

#### **2.2.4.3. Tipos de tratamiento para el drenaje ácido de minas**

##### **A. Tratamiento activo**

“Para el tratamiento de efluentes ácidos tenemos diferentes métodos, el más utilizado es el tratamiento activo, el cual se basa en la adición de agentes de neutralización químico” (Coulton et al., 2003).

El tratamiento activo o conocido también como tratamiento tradicional, se caracteriza por tener la capacidad de actuar de manera rápida sobre el drenaje ácido aumentando su pH, por lo cual las aguas no se almacenan por mucho tiempo en las plantas de tratamiento. Pero requiere de todo un sistema operativo y un continuo mantenimiento para su funcionamiento, además de que los costos de funcionamiento son elevados. Como tal el tratamiento consiste en agregar sustancias alcalinas como la cal y/o caliza a las aguas ácidas. (Kefeni et al., 2017)

##### **B. Tratamiento pasivo**

Hay dos tipos de tratamientos pasivos: los superficiales y subterráneos para lo cual debemos conocer ciertas características como el tipo de agua, así como realizar la caracterización del agua a tratar, de los

mecanismos de degradación y de la red de flujo de los humedales superficiales y de los subterráneos pues estos son eficaces para el tratamiento del DAM. (Halverson, 2004)

Existen diferentes tipos de tratamientos pasivos para aumentar la acidez de los drenajes ácidos de mina, tenemos los siguientes: balsas orgánicas (humedales anaerobios) humedales aerobios, los drenajes anóxicos calizos(ALD), los sistemas sucesivos de producción de alcalinidad (SAPS) y las barreras reactivas permeables. Estos suelen ser más efectivos cuando se emplean en forma conjunta. (Ordoñez, 1999)

#### **2.2.5. Metales pesados**

Los metales pesados se definen como aquellos elementos químicos que tienen la densidad o peso mayor que  $5 \text{ g/cm}^3$  o en su defecto el número atómico es mayor a 20 cuyo número atómico es superior a 20 (se excluye a los alcalinos y alcalinos térreos).

“El término metales pesados hace referencia a impactos o cambios negativos para el ambiente, la presencia de estos en cuerpos receptores representa un riesgo ya que son altamente tóxicos cuando alto cuando sobrepasan ciertos umbrales” (Lopez & Grau, 2005).

■ Elementos nutrientes para animales o plantas. Algunos también son tóxicos en cantidades excesivas.  
■ Elementos tóxicos en pequeñas cantidades, sin funciones biológicas conocidas.  
■ Otros elementos estudiados por sus implicaciones en el medio edáfico. El bromo se usa como trazador de solutos aniónicos como nitrato; isótopos de rubidio y estroncio se usan como trazadores de potasio y calcio en plantas y suelos; cesio y litio se usan como trazadores de procesos geológicos, como la erosión del suelo.

1	H																	He																														
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																														
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																														
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																														
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																														
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																														
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs																																								
			<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>La</td><td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Hg</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Ac</td><td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>No</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lw</td> </tr> </table>																La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hg	Er	Tm	Yb	Lu	Ac	Th	Pa	U	No	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hg	Er	Tm	Yb	Lu																																		
Ac	Th	Pa	U	No	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw																																		

Metales ← → No metales

**Figura 1.** Tabla periódica señalando metales pesados contaminantes.

Fuente: (Brady & Weil, 2002)

### A. Clasificación de metales pesados

Se clasifican en dos grupos:

- **Oligoelementos o micronutrientes:** “Los oligoelementos son indispensables en pequeñas cantidades traza por las plantas y también por animales ya que son necesarios para completar su ciclo vital, pero pasando si llegan a sobrepasar ciertos niveles suelen ser tóxicos. Dentro de este grupo tenemos: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn” (Nedelkoska & Doran, 2000).
- **Metales pesados sin función biológica conocida:** “Estos metales suelen causar disfunciones en el funcionamiento del organismo de los seres vivos, por lo que terminan siendo altamente tóxicos y además tienen la

propiedad de acumularse en los seres vivos. Son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi.” (Maqueda , 2003).

**Tabla 3.** *Clasificación de metales pesados.*

<b>CLASIFICACIÓN DE METALES PESADOS</b>	
<b>Oligoelementos</b>	As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn.”
<b>Metales pesados sin función biológica conocida</b>	Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi.”.
<b>Fuente:</b> Elaboración propia	

### 2.2.5.1. Plomo

“Es un elemento químico cuyo símbolo (Pb) y con número atómico 82, se encuentra dentro de los metales de transición en la tabla periódica, sus principales características es ser un metal gris, flexible y de fácil reacción química” (Azcona et al., 2015).

“El plomo es un contaminante que ha generado preocupación por los daños que puede ocasionar a los seres humanos y el ecosistema” (Ortiz et al ., 2009), ya que gracias a su peso molecular tiende a acumularse en los suelos, sedimentos y cuerpos de agua me manera rápida (Sharma & Shanker, 2005), así como permanecer como un contaminante atmosférico en el ambiente.

#### A. Toxicidad

El plomo en bruto tiene muchas impurezas, algunas de ellas son fácilmente oxidables (antimonio, hierro y arsénico) y otras que son difícilmente oxidables (oro y plata). El sulfuro (PbS) es su forma más abundante forma las menas de galena. Podemos encontrarlo asociado a otros metales, como plata, cobre, zinc, hierro y antimonio.

La gasolina es la fuente ambiental principal, la exposición a este metal en medio profesional es en actividades de minería, fundiciones, fabricación y empleo de pinturas, baterías, tuberías, envases con soldaduras de plomo, vajillas y cerámicas. (OMS, 1997)

## **B. Efectos del plomo sobre en las plantas**

Niveles altos de plomo en las plantas puede causar diversos cambios en su ciclo de vida, pues retrasa su crecimiento, aparecen nuevos brotes en la planta y el peso de las raíces es menor” (Verma & Dubey, 2003), en consecuencia, de la alteración de actividad enzimática, así como de la nutrición mineral y el balance hídrico, esto afecta el estado hormonal y celular. Cabe mencionar también que las plantas que no toleran el plomo presentan una disminución en los niveles de fotosíntesis. (Miles et al., 1972)



### **C. Efectos del plomo en la salud humana**

Desde hace muchos años se conoce los efectos del plomo en los seres humanos, este afecta a casi todos los órganos y sistemas del organismo. “El sistema que es más susceptible a los daños o efectos que causa el plomo es el sistema nervioso, principalmente en los niños. También puede causar daños a los riñones y el sistema reproductivo” (Adriano, 1986).

En los humanos, el plomo ingresa al cuerpo mediante distintas vías tales como la inhalación de aire que contenga partículas de plomo, el consumo de agua y alimentos contaminados. Los síntomas que produce varía desde ligeros dolores de cabeza, irritabilidad y dolor abdominal hasta síntomas asociados con el sistema nervioso (Järup, 2003). Por ejemplo, se ha demostró que una larga exposición a metales pesado aun en bajas concentraciones tiene una relación a la generación de tumoraciones cancerígenas (Zhao et al., 2014).

#### **2.2.5.2. Cadmio**

El Cadmio es un elemento químico; su símbolo es Cd, número atómico 48, peso atómico de 112.40, densidad relativa 8.65 a 20°C (68°F), punto de fusión de 320.9°C (610°F), ebullición 765°C (1410°F); tiene una relación estrecha con el elemento Zinc, con el que se lo encuentra asociado en la naturaleza, pero a diferencia del mismo es más maleable y blando, y a la vez es más resistente que el estaño. (Siguenza, 2016)

### **A. Efectos del cadmio en las plantas**

La producción y el uso de cadmio son dos fuentes principales de contaminación, otras como la eliminación de desechos también contienen cadmio; cuando la concentración de cadmio aumenta en el suelo también incrementa la absorción de este metal en las plantas; de esta manera la exposición humana a través de cultivos agrícolas es susceptible al incremento del cadmio presente en el suelo. (FAO/OMS, 2008)

El cadmio es uno de los metales más tóxicos e inhibitorios de los procesos fisiológicos de las plantas. Diferentes estudios evidencian los efectos que tiene dicho metal en los cultivos, algunos de ellos son: reducir el crecimiento, la actividad fotosintética, la transpiración y el contenido de clorofilas. La toxicidad que presenta este metal puede ocasionar a la muerte de la planta, aunque también puede depender de otros factores como el tiempo de exposición, el contenido del metal y las adaptaciones específicas que desarrollan. (Hernandez et al., 2019)

### **B. Efectos del cadmio en la salud humana**

En los seres humanos el cadmio una vez que ingresa al cuerpo, su vía de transporte es la sangre, este viaja hasta llegar a acumularse en varios órganos y tejidos, entre los principales están los riñones e hígado, allí se deposita hasta el 50% del cadmio, que luego de un proceso químico se elimina a través de la orina, por otro lado si el Cd que absorbió el

cuerpo humano sobrepasa la reserva de metalotioneina, este se empieza a acumular en dichos órganos afectándolos, como por ejemplo el sistema nervioso central , páncreas y otros (Minsal, 2014).

## **2.2.6. Legislación en materia de aguas contaminadas**

### **A. Ley N° 28611.- Ley general del ambiente**

**“Artículo 31°.-** Del Estándar de Calidad Ambiental. 31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos”.

**“Artículo 121°.-** Del vertimiento de aguas residuales. El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

**Artículo 122°.-** Del tratamiento de residuos líquidos. Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes.

**B. Ley N° 29338.- Ley de Recursos hídricos**

**“Artículo 79°.-** Vertimiento de agua residual. La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

**“Artículo 80°.-** Autorización de vertimiento. Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva

**C. Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Los LMP miden la concentración de determinados elementos, sustancias y/o aspectos físicos, químicos y/o biológicos que se encuentran en las emisiones, efluentes o vertidos generados por una determinada actividad productiva, ya que es a través de ellos que el aire, el agua o el suelo.

#### D. Estándares de calidad Ambiental (ECA)

Los ECA son indicadores de calidad ambiental. Miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el aire, agua o suelo. Su propósito es establecer metas que representen el nivel a partir del cual el medio ambiente y la salud humana pueden verse afectados significativamente.

**Tabla 4.** Legislación peruana en materia de aguas contaminadas.

NOMBRE QUIMICO	DS. 004 2017 – MINAM ECA CAT3. RIEGO Y BEBIDAS DE ANIMALES	LMP PARA EFLUENTES ACTIVIDADES METALURGICAS	DESCARGA DE LIQUIDOS DE MINERO-
<b>Plomo (Pb)</b>	0.05 Mg/L		0.2 Mg/L
<b>Cadmio (Cd)</b>	0.01 Mg/L		0.05 Mg/L

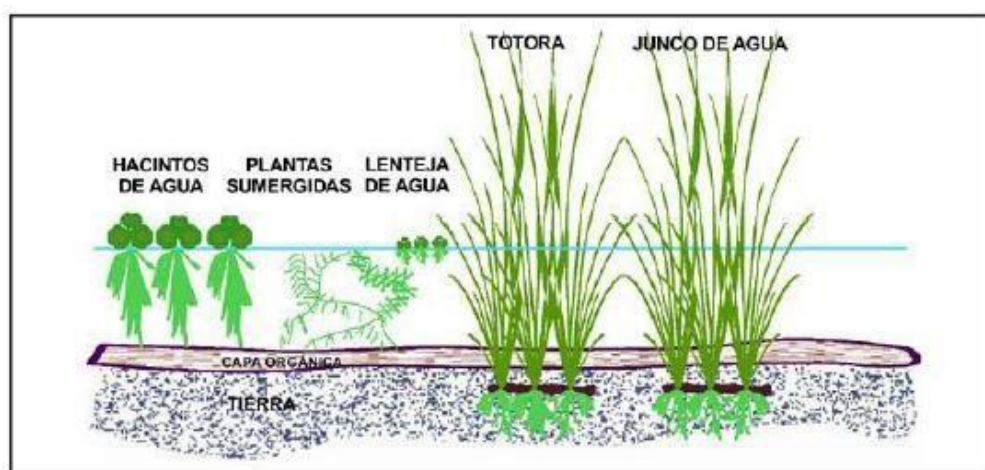
**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.7. Fitorremediación

La fitorremediación es un método que aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes

presentes en el suelo y agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados de la minería que son dañinos para el medio ambiente. (García & Sandoval, 2011)

“Es una técnica empleada como estrategia de rehabilitación para desintoxicar agua o suelo que hayan sido alterados con contaminantes” (Wang et al., 2017). Para ello se emplean las capacidades potenciales de las plantas, las cuales pueden absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o tolerar diversos contaminantes en raíces, tallos y hojas (Cameselle & Gouveia, 2019).



**Figura 2.** Plantas acuáticas posibles reductoras de contaminantes.

Fuente: Tchobanoglous, 1994

### 2.2.7.1. Mecanismos de la fitorremediación

“Los mecanismos de las plantas para la remoción o eliminación de contaminantes se pueden subdividir en varios tipos, debido a que no todos los procesos son iguales y cada uno está basado en diferentes características de la planta” (Jimenez & Ramos, 2019).

### **A. Fitoextracción**

La fitoextracción es un proceso mediante el cual las raíces tallos y hojas de la planta cumplen con la importante función de absorber metales contaminantes. La raíz absorbe los contaminantes del suelo por medio de los poros, una vez que fueron absorbidos por las plantas son trasladados por los haces vasculares a las partes aéreas de la planta, donde pueden ser cosechados y tratados. (Nava & Mendez, 2010)

### **B. La fitoestabilización**

Es una tecnología en la cual las plantas son capaz de inmovilizar los contaminantes del suelo o el agua por medio de adsorción y acumulación de sustancias en las raíces. Los contaminantes son absorbidos por las raíces, donde son depositados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos e impidiendo que se afecten las napas subterráneas. De igual forma este proceso limita la biodisponibilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. Minimiza significativamente los posibles efectos adversos al ambiente y su transferencia a la cadena trófica. (Zapata, 2019)

### **C. Fitoimmobilizacion**

Esta técnica se basa en el uso de las raíces de las plantas para la fijación e inmovilización de los contaminantes en el suelo. Unido a la técnica de fitoestabilización se le denomina contención.

Provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación. (Carpena & Bernal, 2007)

#### **D. Fitovolatilización**

“La fitovolatilización se produce cuando los árboles y plantas que están creciendo absorben el agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos contaminantes suelen llegar hasta las hojas y se evaporan o también pueden volatilizarse en la atmósfera” (Nava & Mendez, 2010).

#### **E. Fitodegradación**

Es una técnica en la cual las plantas y microorganismos se asocian para degradar contaminantes orgánicos en productos inofensivos o mineralizarlos hasta anhídrido carbónico y agua. Los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales en moléculas más simples y al mismo tiempo las plantas van generando enzimas. (Zapata, 2019)



## F. Rizofiltracion

Es una técnica que hace uso de las plantas para adsorber y absorber los metales pesados del medio hídrico por medio de la raíz. Cuando el sistema radicular de las plantas se encuentra bien desarrollado, las plantas ingresan en el agua contaminada con metales, allí las raíces los absorben y acumulan, cuando las plantas se saturan de contaminantes, estas son cosechadas y se disponen para su uso final. La rizofiltración es una técnica amigable con el ambiente, las plantas que son utilizadas para con fines de remediación se cultivan en invernaderos. Con las raíces sumergidas en agua, en lugar de tierra. (Zapata, 2019)

*Tabla 5. Uso de técnicas de fitorremediación para diferentes contaminantes.*

<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Contaminantes</b>	<b>Técnicas de fitorremediación</b>
Contaminante orgánico	- Pesticidas - Dioxinas - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) - Alcanos y alquenos clorados - Trinitrotolueno - Otros: bencenos, surfactantes	- Fitodregradacion - Rizodegradacion - Fitovolatilizacion
Contaminante inorgánico	- Contaminantes gaseosos: CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>3</sub> - Metales pesados	- Fitoextracion - Rizofiltracion - Fitoestabilizacion

**Fuente:** (Leon, 2017)

### 2.2.7.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

En el siguiente cuadro se realiza una descripción de las principales ventajas y desventajas de la fitorremediación.

**Tabla 6.** *Ventajas y desventajas de la fitorremediación.*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Es una tecnología de bajo costo; se puede aplicar in situ.	Trabaja mejor cuando los contaminantes están al alcance de las raíces, de 3 a 6 pies de profundidad para plantas herbáceas y 10 a 15 pies para árboles.
Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.	En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
Permiten su aplicación, tanto en suelos como en aguas.	Algunas especies pueden absorber muchos metales venenosos, lo que implica un riesgo potencial en la cadena alimenticia.
Puede reducir la entrada de contaminantes en el ambiente (los contaminantes quedan atrapados en las plantas).	Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
Se puede reciclar recursos (agua, Biomasa, metales)	El metal pesado ó el contaminante emplea el ciclo natural de plantas y por lo tanto toma tiempo.
Soportan bien las variaciones del caudal.	Es dependiente de las estaciones.
No requiere consumo de energía, utiliza la energía solar.	No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desechos.	Generalmente requieren grandes exensiones del terreno, comparado con los tratamientos convencionales.

**Fuente:** Elaboración propia

### **2.2.7.3. Criterios de selección de plantas para la fitorremediación**

La eficiencia de remoción de contaminantes de una planta dependerá de la especie a utilizar, el estado de crecimiento de las plantas, y el tipo de metal a remover. Por tal motivo, para lograr buenos resultados, las plantas utilizadas para la fitorremediación deben tener las siguientes características:

- Las plantas fitorremediadoras no deben ser comestibles.
- Ser tolerantes a altas concentraciones de metales, uno o varios contaminantes.
- Ser acumuladoras de metales.
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.
- Tener ciclo corto de vida (generando una gran cantidad de biomasa en poco tiempo)

En cuanto a sus condiciones de supervivencia, deben sobrevivir en un rango de pH entre 4 y 8, soportar temperaturas entre 5 y 35 °C y según la zona de aplicación soportar grandes cantidades de agua o sequía elevada. (Carrillo et al., 2015)

### **2.2.7.4. Transporte de metales pesados a las plantas**

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de las especies vegetales, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas

estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. (Baker & Brooks, 1989)

**A. Fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados.**

**Fase I.** Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. (Baker & Brooks, 1989).

**Fase II.** Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión de ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas. (Baker & Brooks, 1989)

**Fase III.** “Involucra la detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.” (Baker & Brooks, 1989).

**2.2.7.5. Fitorremediación de cadmio**

**A. Ingreso del cadmio en la planta**

El Cd entra a la planta principalmente en forma de  $Cd^{2+}$ , ya que sus iones quelatos, generalmente, no están disponibles para la absorción por

las raíces. La capa de células epidérmicas es el primer tejido para la captación de iones y dentro de ella, los pelos radicales son la zona más activa para absorber iones del suelo y es la estructura que facilita la absorción de Cd. (Duressa & Leta, 2015)

## **B. Translocación del Cadmio en la planta**

Se han propuestos tres diferentes vías de entrada de Cd en la raíz (Song, Jin, & Wang, 2017):

Primera vía: en la membrana plasmática de las células epidérmicas de la raíz, el  $\text{CO}_2$  (ac) se disocia en  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ , a través de la respiración de la planta. El  $\text{H}^+$  se intercambia con el  $\text{Cd}^{2+}$  del suelo y el metal se adsorbe en la superficie de las células epidérmicas de la raíz. Este proceso de adsorción es rápido y no requiere de energía y es la etapa precedente a la posterior absorción de  $\text{Cd}^{2+}$  en la epidermis a través de la vía del apoplasto.

Segunda vía: el Cd es un elemento no esencial y, por tanto, se asume que las plantas no disponen de mecanismos de entrada específicos para él. Ingresa a las células vegetales a través de los transportadores de metales esenciales  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . Después de combinado con las proteínas transportadoras, el Cd entra en la capa de epidermis de la raíz, a través de la vía del simplasto.

Tercera vía: para aumentar la disponibilidad de iones en el suelo de la rizosfera, las raíces de las plantas secretan compuestos de baja masa

molecular, como los ácidos mugineicos (MA), que forman complejos con el  $\text{Cd}^{2+}$ . Por tanto, el  $\text{Cd}^{2+}$  ingresa a la capa de la epidermis de la raíz a través de las proteínas tipo YSL en forma de quelatos.

### **C. Mecanismos del cadmio en las plantas.**

Las adaptaciones específicas de las plantas al estrés por Cd se basan en dos mecanismos principales; algunas evitan o regulan la entrada y transporte del mismo (Duressa & Leta, 2015) y otras toleran determinados contenidos de Cd, a través de su detoxificación, mediante quelación en orgánulos intracelulares. Basándose en estos mecanismos de tolerancia, varios grupos de investigación han propuesto diferentes estrategias para aminorar los efectos del Cd en las plantas. La mayoría de las estrategias incluyen realizar modificaciones en el manejo de la nutrición (Nazar , y otros, 2012). Pero otras prácticas también han mostrado resultados favorecedores, tales como, la inoculación con bacterias beneficiosas, injertos sobre patrones resistentes, adición de diferentes reguladores del crecimiento (Pompeu, y otros, 2017) y aplicación de enmienda en el suelo.

#### **2.2.7.6. Fitorremediación de plomo**

##### **A. Ingreso del plomo en la planta**

El plomo puede entrar a la planta a través del sistema de la raíz o de las hojas. En general, las partes del fruto y de la flor acumulan las cantidades más pequeñas de plomo.

Hacia la superficie de la raíz el  $Pb^{2+}$  se une a los grupos carboxilo del ácido urónico del mucílago. El mucílago establece una barrera importante protegiendo el sistema radicular del metal entrante. Algunas de las uniones de los metales son liberadas cuando el mucílago es biodegradado. (Morel et al., 1986)

El plomo transportado desde el suelo hacia las células tiene que cruzar la membrana plasmática de las células de la raíz. Una posible vía de transporte de plomo a través de la membrana plasmática parece que es a través de los canales catiónicos de la misma, tales como canales de Calcio.

## **B. Translocación del plomo en la planta**

El plomo se mueve predominantemente dentro del apoplasto de la raíz en una forma radial a través del córtex y se acumula cerca de la endodermis. La endodermis actúa como una barrera parcial al movimiento de plomo entre la raíz y la parte aérea. Tal y como muestran la mayoría de datos referidos a la elevada acumulación de plomo en raíces comparada con la de la parte aérea. (Verma & Dubey, 2003)

## **C. Mecanismos del plomo en las plantas**

El transporte limitado de plomo desde las raíces hacia otros órganos es debido a la barrera de la endodermis de la raíz. Parece ser que la banda de Caspari de la endodermis es el mayor factor limitante que restringe

el transporte de plomo dentro del tejido del cilindro central. (Seregin e Ivanov, 1997).

#### **2.2.7.7.**

#### **Disposición de los sub-productos del proceso de fitorremediación**

Se debe tener especial consideración con la biomasa que acumulo grandes cantidades de metales después del proceso de fitorremediación, ya que esta puede ser una nueva fuente de contaminación para el ambiente. Se proponen algunas opciones para el uso de la biomasa como por ejemplo puede ser utilizada para la generación de energías renovables. (Meers, 2004 - 2005)

Así mismo se presenta otras opciones como el compostaje y la combustión o gasificación de las plantas con fines energéticos se puede tomar en cuenta con las precauciones del caso para evitar la emanación del contaminante a la atmósfera (Ghosh & Singh, 2005). Las plantas pueden ser sometidas a un proceso de deshidratación y ser dispuestas en rellenos sanitarios para residuos peligrosos, o simplemente incineradas para darle un manejo posterior a las cenizas (Panez, 2013) y que de ser posible y rentable, se puede recuperar parte del metal extraído para otros usos.

### **2.2.8. Descripción de las especies vegetales**

#### **2.2.8.1. La chilca (Baccharis Latifolia)**

##### **A. Taxonomía y origen**



Es una planta perenne originaria de América, su follaje es denso y su tallo enjuto, se pueden desarrollar en suelo secos o salino. Sus hojas son alternas, duras, coriáceas dentadas o lobadas. Se encuentra creciendo en los potreros junto a otras plantas. “Esta especie es ligeramente resinosa, crecen en panículas en los ápices de las ramas y carecen de las típicas flores liguladas. Aunque la mayoría son plantas de crecimiento exuberante sin valor ornamental”. (Prado, 2000)

## B. Clasificación taxonómica

**Tabla 7.** *Clasificación taxonómica de Baccharis Latifolia.*

<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>
<b>Subreino</b>	Fanerógamas
<b>Tipo</b>	Magnoliotypa
<b>Clase</b>	Metaclamides o simpétalas
<b>Subclase</b>	Asteridae
<b>Orden</b>	Campanuladas
<b>Familia</b>	Asteraceae o compositae.
<b>Género</b>	<i>Baccharis</i> L
<b>Especie</b>	<i>Baccharis latifolia</i>
<b>Nombre científico</b>	Baccharis latifolia
<b>Nombre común</b>	Chilca, Yana chilca

**Fuente:** Elaboración propia

## C. Descripción de la especie

“*Baccharis latifolia* es un arbusto que puede alcanzar una altura de 1 metro hasta los 3 metros, con tallos y ramas delgadas, además es una especie glabro y resinoso” (Fernandez, 2014).

Contienen raíces profundas que permiten mantener a la planta húmeda en épocas de sequías. Esta especie tiene varios tallos, la ramificación empieza desde la raíz, los tallos rebrotan formando una aglomeración, son de color café, poseen entrenudos de 100 mm a 300 mm de longitud (Loja et al., 2017). Las hojas tienen color verde brillante en el haz y en el envés tiene un color verde claro, (Guerra, 2016)

#### **D. Usos**

“Se usa en medicina natural para infecciones, no comestible y se usa para leña y para acelerar la germinación del maíz”. (Brady & Weil, 2002).

#### **E. Parámetros de crecimiento**

La chilca es una de las especies importantes para Agroforestería por reunir las siguientes características: Tolerante a las heladas y sequías, rápido ritmo de crecimiento, susceptible al ramoneo, fácil de propagar por semillas, buena capacidad de rebrote, productora de leña y forraje y buena aportadora de materia orgánica al suelo. (Paredes, 2002)

Es una especie que se encuentra dentro en las zonas montañosas, en las riberas de las acequias, quebradas, ríos, cerca de carreteras, en los

tapiales, lugares alejados, terrenos baldíos y en zonas carentes de agua (Hoyos & Yep Chu, 2008). “Este arbusto crece de una manera espontánea, para su desarrollo necesita de climas bien fríos, la planta de chilca forma una defensa contra otras especies vegetativas” (Fernandez, 2014).

#### **2.2.8.2. Fitorremediación con chilca *Baccharis Latifolia***

“En primer lugar, la especie *B. latifolia* es un arbusto que alcanza alturas entre 1,5 a 3 metros, esta especie se caracteriza por presentar una alta tolerancia a suelos pobres de nutrientes y ausencias prolongadas de agua” (Orduz et al., 2016).

De acuerdo a Mora & Merchan (2008), es una especie óptima para restauración debido a su capacidad de recuperación de suelos desnudos, control de taludes y surcos.

“Se utiliza las especies *Baccharis latifolia* debido a su potencial como planta restauradora y de recuperación de áreas degradadas, además presentan características optimas en cuanto a crecimiento rápido y adaptación de áreas disturbadas “(Mendoza, 2017) (Orduz et al., 2016).

Dentro del género *Baccharis* (familia *Asteraceae*), se ha reportado que la especie *B. pentlandii*, ha mostrado capacidad para tolerar hasta 400 mg/kg de Pb, aunque por los valores de acumulación no se puede clasificar como hiperacumuladora de plomo (Orellana, 2012). Mientras que la especie *B. latifolia* ha mostrado alta eficiencia en la absorción y acumulación de

metales pesados (especialmente As, Cr y Cd), lo que permite 37 clasificarla como una especie con alto potencial de fitorremediación (Franco et al., 2018).

### 2.2.8.3. Llantén (Plantago Major)

#### A. Taxonomía y origen

*Plantago major* es una especie herbácea denominada llantén mayor, llantén común o simplemente llantén, pertenece a la familia Plantaginaceae. La planta tiene su origen en Europa y Asia. Actualmente se encuentra en toda Europa, el norte de África, Norteamérica y América del sur. (Pinto & Bustamante, 2008)

#### B. Clasificación taxonómica

**Tabla 8.** *Clasificación taxonómica de Plantago Major.*

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>Tipo</b>	Lamiales
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Asteridae
<b>Serie</b>	Limiales
<b>Familia</b>	Plantaginaeaceae

<b>Género</b>	<i>Plantago</i>
<b>Especie</b>	Plantago Major
<b>Nombre científico</b>	Plantago Major
<b>Nombre común</b>	LLanten coun

**Fuente:** Elaboración propia

### C. Descripción de la especie

El llantén (*Plantago major*) es una hierba perenne cuyo ciclo de vida ronda los 6 o 7 meses. Mide entre 15 cm y 60 cm. El tallo inicia como un rizoma subterráneo elevándose hacia la superficie, presenta un color amarillo. Las raíces son adventicias y presentan forma de ancas, son de tamaño uniforme y surgen del rizoma. Las hojas son de color verde claro, ovaladas, glabras y miden aproximadamente 30 cm de longitud. Presentan margen denticulado o liso y una nerviación paralela. Los pecíolos miden alrededor de 15 cm y son lisos. (Blanco et al., 2008)

### D. Usos

Acelera la recuperación en el caso de catarros y gripes. Se usa en casos de cistitis. Mejora el funcionamiento de las vías respiratorias. Combate el reumatismo, Alivia el dolor de garganta, la tos y la afonía 24 (gárgaras). Reduce las hemorroides. Por su efecto saciante está recomendada a personas que hacen dieta para adelgazar. Se usa en

enjuagues bucales para mejorar la salud de las encías y curar llagas y heridas. (Callupe & Espinoza, 2019)

#### **E. Parámetros de crecimiento**

“Plantago major es una hierba perenne que desarrolla su ciclo de vida entre seis y siete meses. Posee una altura entre los 15 cm a 30 cm; sin embargo, su longitud puede variar según los distintos hábitats de crecimiento” (Berit , 2000, pp.1-21).

El tallo de P.major puede llegar a medir 15 cm de longitud en una planta adulta. Por otro lado, las raíces son blancas y de tamaño uniforme, surgen del tallo subterráneo. Las hojas son glabras, ovaladas, de color verde claro y se unen al tallo por un largo pecíolo; poseen aproximadamente 50 cm de longitud y un ancho de 20 cm en plantas adultas. Nacen a ras del suelo en forma de roseta y se desarrollan verticalmente. (Martínez, 2005).

La floración ocurre entre mayo y octubre, en zonas templadas. P. major es polinizada por el viento. El fruto es una pequeña cápsula que, cuando madura, se abre transversalmente dejando caer las semillas que contiene. Se producen más de 20.000 semillas por planta, estas tienen forma ovalada, tamaño muy reducido y un ligero sabor amargo; se localizan de 8 á 16 semillas por cápsula. Con el clima húmedo, las semillas se vuelven pegajosas, lo que provoca que se adhieran a los animales y, de esta manera, logran dispersarse. (Berit , 2000)

#### **2.2.8.4. Fitorremediación con plantago major**

P. major es una especie apta para realizar fitorremediación gracias a su ciclo corto de vida de 3 a 6 meses, su adaptación en climas templados y fríos y su fácil reproducción. Realiza principalmente procesos de fitoextracción.

Según Lopez (2011), P. major es capaz de absorber 68.6 mg/kg de arsénico en sus hojas, mediante el mecanismo de fitoextracción.

Según Cristaldi et al (2017), P. major tiene la capacidad de absorber Cu, Pb, Fe, Zn y Cr, en raíces con translocación al tejido foliar en un periodo de 4 meses.

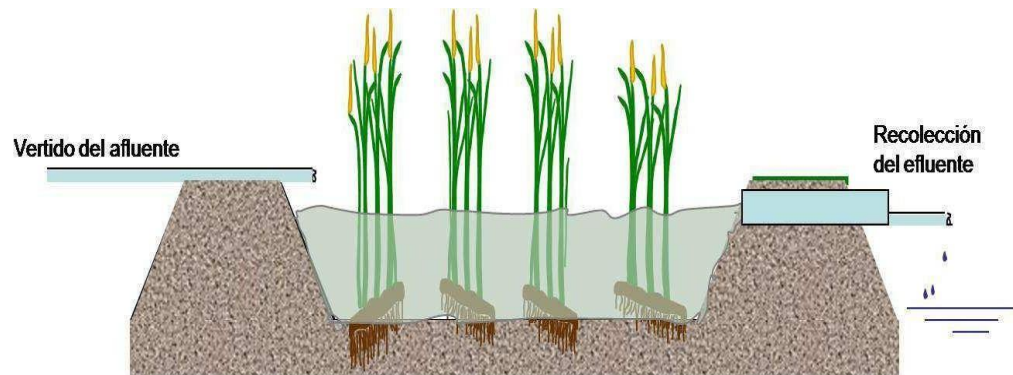
Según Ali Romeh (2017), P. major tiene la capacidad de absorber cierto tipo de contaminantes como la azoxistrobina, cuando está siendo sometido a algunos tipos de estrés, como puede ser el frío o una elevada salinidad, este contaminante no se absorbe en condiciones normales.

#### **2.2.9. Humedales artificiales**

Un humedal artificial (HA) se define como un sistema para el tratamiento de aguas contaminadas el cual optimiza de procesos físicos, químicos y biológicos que transcurren de forma natural en los ecosistemas de humedales, con la finalidad de mejorar la calidad del agua. Los humedales artificiales pueden ser altamente eficaces para la remoción del DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno, así como también para metales compuestos y patógenos. (Montalvan et al., 2015)

### 2.2.9.1. Tipos de humedales artificiales

**A. Humedal de flujo superficial - HFS (Free Water Surface- FWS):** En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Alianza por el agua (2008).



*Figura 3.* Humedal de flujo superficial (HFS).

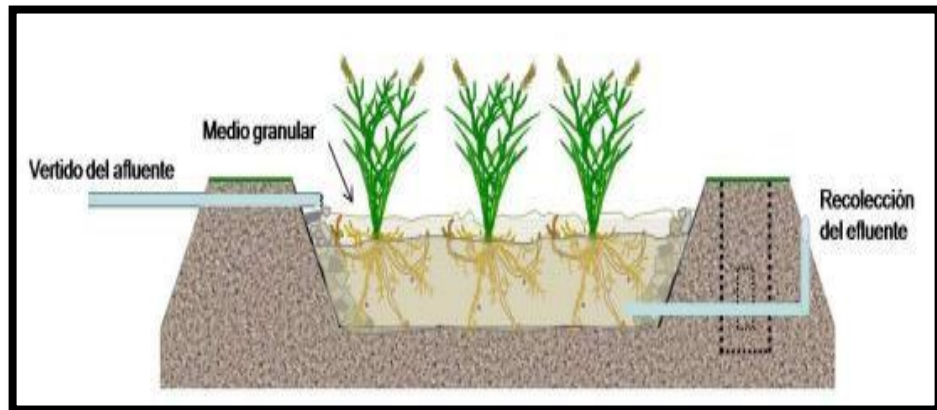
**Fuente:** Estrada Islena, Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales, 2010.

**B. Humedal de flujo subsuperficial - HFSS (*Vegetated Submerged Bed-VSB*):** En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. Alianza por el agua (2008)

Los HFSS se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Además, pueden existir combinaciones entre estos dos sistemas.



En los HAFSs horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente un sustrato filtrante de gravillas-grava, de unos 0,6 m. de espesor, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales, una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento que suele mantenerse unos 5 cm. por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles. Alianza por el agua (2008).

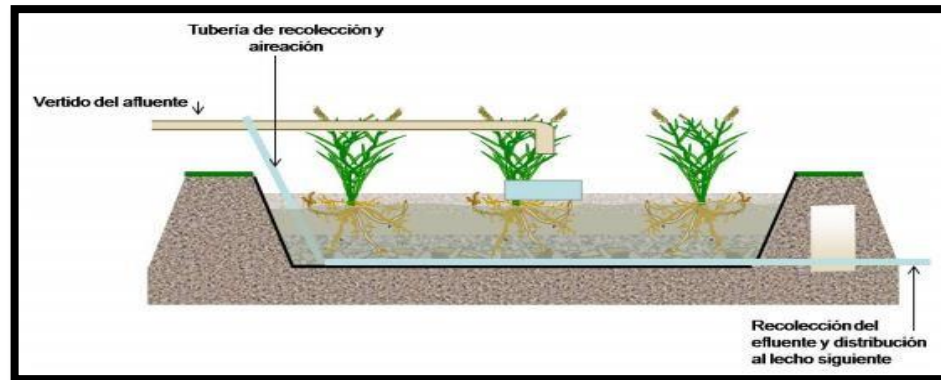


**Figura 4.** Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: Recuperado de “Depuración con Humedales Construidos” de García y Corzo, 2008, p. 2, Catalunya.

En los HAFSs verticales la alimentación se efectúa de forma intermitente, para lo que se recurre generalmente al empleo de sifones. Las aguas circulan verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla, de aproximadamente 1 m. de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo de los humedales, una red de drenaje permite la recogida de los efluentes depurados. A esta red de drenaje se conectan un conjunto de

chimeneas, que sobresalen de la capa de áridos, al objeto de incrementar la oxigenación del sustrato filtrante. Alianza por el Agua (2008).



*Figura 5.* Humedal artificial de flujo horizontal.

Fuente: Recuperado de “Depuración con Humedales Construidos” de García y Corzo, 2008, p. 9, Catalunya.

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible.

### 2.3. Marco conceptual

**Fitorremediación:** Es el proceso biológico con el cual se hace un tratamiento de manera natural a través de la utilización de las plantas a aguas residuales industriales que contienen en su mayoría metales como Pb y el As.

**Contaminación del agua:** Es la modificación al ser utilizada por el hombre convirtiéndola en una sustancia no apta y peligrosa para cualquier tipo de actividad.

**Drenaje ácido de minas:** El drenaje ácido de minas (AMD) se define como un fenómeno natural de un escurrimiento contaminado formado por una reacción química entre el aire, el agua y las rocas que contienen minerales sulfurosos (pirita). El aumento de la excavación del suelo de la actividad minera acelera aún más la formación de AMD.

**Planta herbácea:** Es aquellas plantas que se caracterizan por absorber una cantidad de metales el cual son usadas mayormente en la fitorremediación.

**ECA:** Son los Estándares de Calidad del Agua puestos por el gobierno que cada empresa tiene que cumplir para el vertimiento del efluente hacia al principal.

**LMP:** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

**Tiempo de residencia:** Según *Bros (2006)* uno de los parámetros que se requieren para la construcción de los sistemas de humedales es el tiempo de residencia del agua en el sistema y la profundidad o espesor que debe tener el mismo:

$$Tres(h) = \frac{[S(m^2) * d(m) * u]}{Q \frac{m^3}{h}}$$

Donde:

Tres = Tiempo de residencia

S = Área calculada para el sistema.

d = Espesor del sustrato.

$\mu$  = Porosidad del sustrato (%)

Q = Caudal de entrada

## 2.4. Hipótesis de la investigación

Ha: El tratamiento mediante el uso de Baccharis Latifolia (Chilca) y Plantago Major (Llantén) reducirá la concentración del metal plomo y cadmio a niveles aceptables por el D.S 004 – 2017 MINAM en la quebrada Lechería Hualgayoc.

Ho: El tratamiento mediante el uso de Baccharis Latifolia (Chilca) y Plantago Major (Llantén) no reducirá la concentración del metal plomo y cadmio a niveles aceptables por el D.S 004 – 2017 MINAM en la quebrada Lechería Hualgayoc.

### 2.4.1. Operacionalización de las variables

Tabla 9. Operacionalización de variables.

Tipo Variable	Definición	Indicador	Unidad de Medida	Instrumento
<b>Independiente</b>	Son plantas que sirven como agente principal para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de metales tóxicos en el ambiente.	Absorción de Metales	Mg/kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica
<b>Especies vegetales (Plantago major, Baccharis latifolia)</b>		Longitud de raíz	Días	Calendario

<b>Dependiente</b>	Remoción se refiere a la eliminación, absorción del plomo y cadmio contenido en el cuerpo de agua mediante especies vegetales.	Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM-ECA Permitidos en la categoría 3.	mg /L  %	Muestreo de aguas  Espectrofotómetro
<b>Remoción de metales tóxicos, plomo y cadmio en el agua</b>		% Remoción		

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPITULO III. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo de investigación

De acuerdo a la finalidad , el tipo de investigación que se empleará será una investigación de tipo aplicada, porque se explotará conocimientos descubiertos de las plantas a utilizar y con el propósito de proponer una solución al problema de contaminación de agua y la falta de tratamiento de la misma y con enfoque cuantitativo ya que este usa la recolección de datos para dar respuesta o probar una hipótesis establecida, para ello se basa en las mediciones y análisis estadísticos empleando la experimentación.

### 3.2. Diseño de investigación:

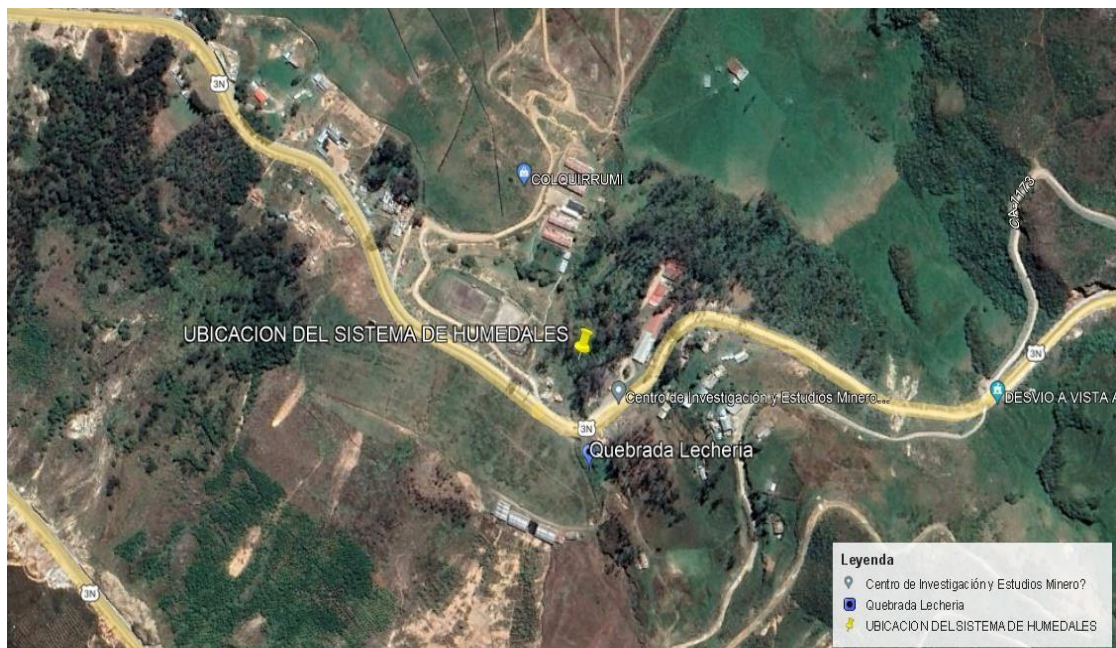
El proyecto de investigación de acuerdo a su finalidad es de carácter experimental porque se requiere de una manipulación intencional de una o más variables independientes para analizar las consecuencias en las variables dependientes.

**Tipo de investigación experimental:** cuasi-experimental debido a que existe poco control en las variables extrañas que están relacionadas con la reducción de metales tóxicos durante proceso de fitorremediación.

### 3.3. Área de estudio

El estudio se realizó en un área de terreno propiedad de la empresa CIEMAM, ubicada en el km 95 carretera Cajamarca- Bambamarca en el Caserío Tumbacucho, Distrito y Provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca donde se encuentra la instalación del humedal artificial tipo batch.

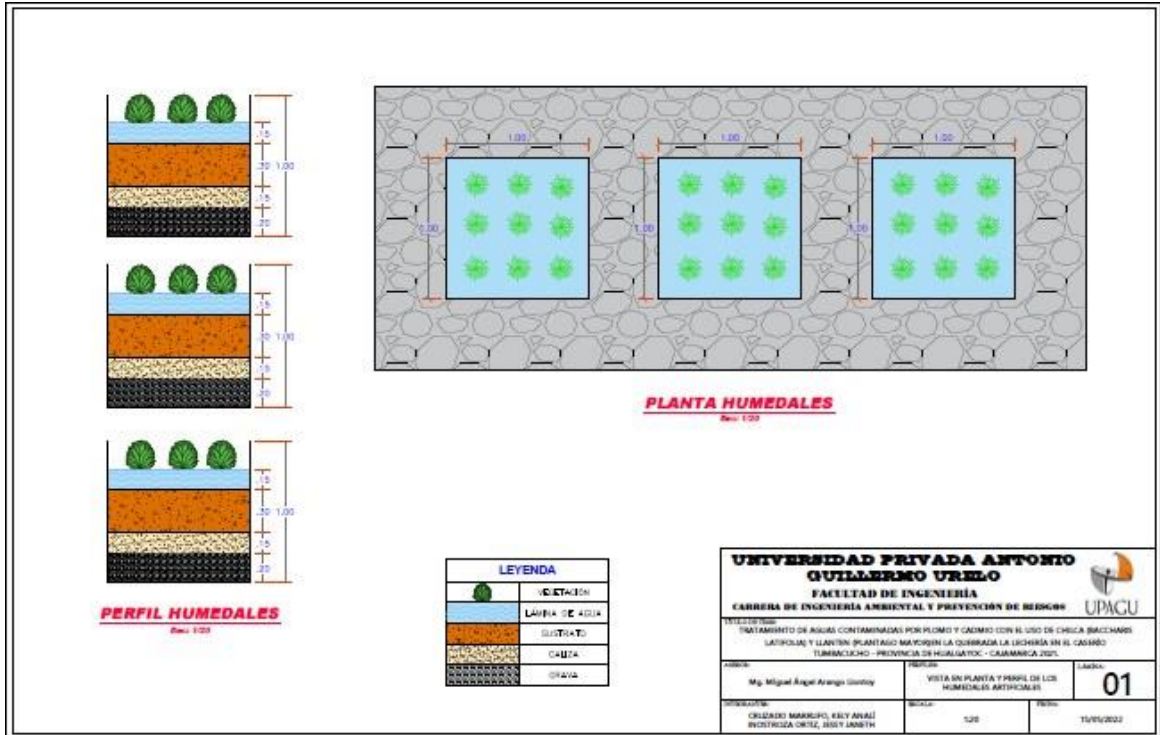
Las muestras de agua para el monitoreo se consideraron en el recipiente controlador de caudal, se tomó muestras de 250 ml, se enjuagó 3 veces los envases con la misma agua antes de ser analizadas. La ubicación del humedal artificial construido se mencionó en el párrafo anterior.



**Figura 6.** Mapa de ubicación del humedal artificial y el punto de muestreo de agua en la quebrada Lechería- Caserío Tumbacuho.

Fuente: Google Earth

**Mapa de diseño de humedales**



**Figura 7.** Mapa de diseño de humedales artificiales.

**Fuente:** Elaboración propia

**Ubicación del humedal artificial**

Geográficamente el humedal artificial de tipo batch para el tratamiento de aguas ácidas se enmarca entre las siguientes coordenadas:



**Tabla 10.** *Ubicación del humedal artificial.*

Puntos	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
	WGS 84 - Zona 17 S		
	Norte (S)	Este(E)	
<b>Punto de ubicación del humedal artificial</b>	9252742	767106	3209

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4. Población

Agua ácida de la quebrada Lechería, Tumbacucho – Hualgayoc.

### 3.5. Muestra

- Se consideró 750 ml de agua ácida para muestras iniciales.
- Se trató un caudal de 41.6 ml/s de la quebrada Lechería.

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

**Tabla 11.** *Técnicas, instrumentos y procesamiento de datos.*

Variables	Técnicas	Instrumentos
<b>Independiente (Especies vegetales)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación</li> <li>- Análisis de la capacidad de adsorción de las plantas con respecto a los metales tóxicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de las especies</li> <li>- Análisis de documentos</li> </ul>
<b>Dependiente (Remoción de metales tóxicos, plomo y arsénico en el agua)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis químico de los metales tóxicos del agua.</li> <li>- Estándares de Calidad ambiental para agua de categoría 3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestreo de agua superficial</li> <li>- Recopilación de información (resultados de monitoreo de agua)</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.7. Construcción del humedal artificial tipo batch**

Las excavaciones para constituir las celdas son de 1m de largo, 1m de ancho y 1m de profundidad, serán cubiertas con plástico para evitar infiltraciones, y será señalizado con una cinta.

- **Sustrato.**

Se utiliza grava caliza.

- **Vegetación.**

Se usó las plantas conocidas comúnmente como chilca y llantén.

- **Efluente de la quebrada.**

Se trabajará regulando el caudal que ingrese a los humedales artificiales.

#### **A. Procedimiento experimental**

Las pruebas experimentales se desarrollarán, así como se muestra a continuación:

- Se realizó excavaciones a campo abierto para formar las celdas del humedal.
- En cada celda se coloca plástico en la base y las paredes internas para evitar alguna filtración.
- Se distribuye las medidas de grava y óxido de calcio establecidas en cada una de las celdas del humedal.
- Se coloca el sustrato compost en todas las celdas en el humedal artificial.

- Cuando se termine los trabajos de las excavaciones se debe cercar la toda la vuelta con una cinta y afirmar los lados 1m alrededor.
- Se espera 1 mes para la adopción de la Baccharis Latifolia y Plantago Major en los sistemas individuales, así como en el sistema combinado de ambas especies.
- Se tomarán las muestras a la salida del humedal y serán enviadas al laboratorio para ser analizadas.

### **B. Toma de muestras**

Las muestras se tomaron manualmente para así ser llevados a laboratorio, en total se analizó 12 muestras.

### **C. Envasado de muestras**

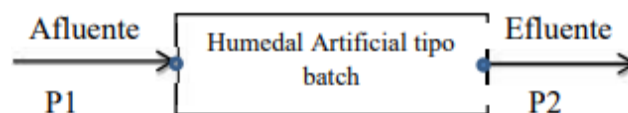
Las muestras serán reservados en envases esterilizados brindados por el laboratorio.

### **D. Análisis de la materia química plomo y cadmio.**

Se realizará el análisis de ambos metales químicos en laboratorio para luego los resultados compararlos con la normativa ambiental vigente del país.

### **3.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.**

Para conocer las concentraciones de Pb, Cd, se consideró un punto en la entrada (P1) y otro en la salida (P2) del humedal artificial, así como se muestra continuación:



Asimismo, para evidenciar estadísticamente la remoción de los parámetros plomo(pb) y cadmio(cd) antes y después se realizó mediante la prueba de T- Student con un nivel confianza del 95% y con un margen de error de +/- 5% .

### **3.9. Interpretación de datos**

Las técnicas de investigación utilizadas para la investigación fueron las siguientes:

**T-STUDENT PARA MUESTRAS RELACIONADAS:** Esta técnica se suele utilizar para probar la hipótesis de las medias de dos grupos y evidenciar si se obtiene diferencias significativas; esta prueba se caracteriza por que una variable dependiente es medida en la misma muestra en dos tiempos distintos, es decir un pre análisis y un post- análisis.

Con toda la estadística deductiva, se asume que las variables dependientes tienen distribución normal. Aquí la hipótesis nula establece que las medias de la población son iguales mientras que para la hipótesis alternativa establece que hay diferencia.

## **CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1. Resultados**

#### **4.1.1. Caracterización de las aguas de la quebrada Lechería – Hualgayoc**

Realizamos la caracterización de las aguas ácidas de las quebrada Lechería como parte de la investigación, para lo cual el día 25 de diciembre se realizó el monitoreo de los parámetros que se mencionaran a continuación:

- Plomo (mg/L)
- Cadmio (Mg/L)

La recolección de agua se obtuvo de la Quebrada Lechería. Tumbacucho, Hualgayoc para lo cual se tomó tres muestras control, se codificó cada una de ellas indicando el lugar, fecha y hora, cabe mencionar que para la recolección de las muestras se utilizó frascos brindados por el laboratorio según lo establecido en el procedimiento de toma de muestras a la muestra de agua para metales pesados se agregó ácido nítrico para la respectiva conservación de las muestras, finalmente se colocó en un cooler con refrigerante para la conservación y almacenaje al fin de mantener en una temperatura adecuada y luego ser trasladado al laboratorio.

#### A. Diseño experimental de la muestra

##### Punto 1: Muestras iniciales (ME1- ME2- ME3) – Quebrada Lechería.

**Tabla 12.** *Diseño de toma de muestras iniciales en la Quebrada Lechería.*

<b>Diseño de la toma de muestras del punto 1 – Quebrada Lechería</b>					
<b>N° de muestras</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Vol. de las muestras</b>	<b>Código del informe</b>
ME1	25/12/2022	6:00 a. m.			
ME2	25/12/2022	18:00 p. m.	Plomo Cadmio	250 ml	T- 1914 - L222 - JESSY
ME3	26/12/2022	6:00 a. m.			

**Fuente:** Elaboración propia

El análisis de las muestras de los parámetros plomo y cadmio se realizó en NKAP Laboratorios ambientales, los resultados se adjuntan en anexos y el resumen e interpretación de los mismos se mostrarán más adelante.

**B. Cálculo de la media de los resultados de los parámetros plomo y cadmio de las muestras iniciales.**

**Tabla 13.** *Media de los resultados del plomo de las muestras iniciales.*

<b>N° de muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Media de los resultados</b>
ME1	mg/l	0.776	
ME2	mg/l	0.560	0.62
ME3	mg/l	0.520	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 14.** *Media de los resultados del cadmio de las muestras iniciales.*

<b>N° de muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Media de los resultados</b>
ME1	mg/l	0.332	
ME2	mg/l	0.313	0.31
ME3	mg/l	0.297	

**Fuente:** Elaboración propia

**C. Comparación del resultado de la media de las muestras iniciales con los Estándares de calidad ambiental (D.S.004-2017) - Categoría 3. Riego y bebida de animales.**

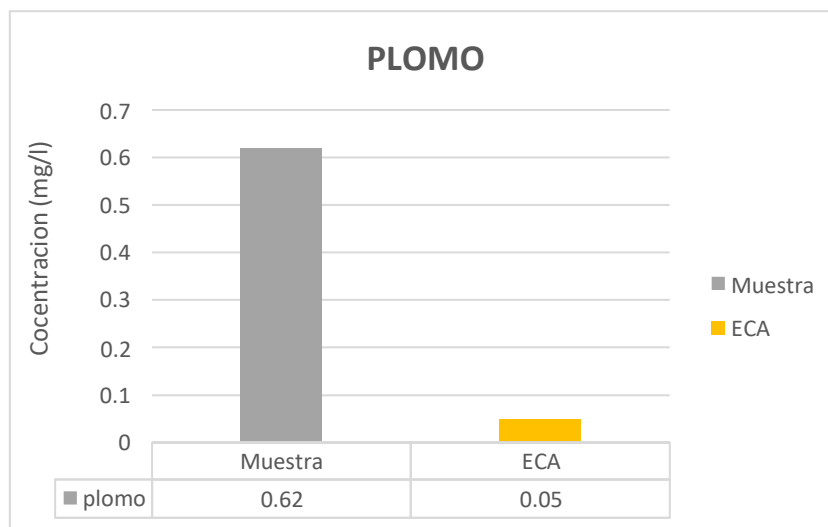
**Tabla 15.** *Comparación de los resultados de la media de las muestras iniciales con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM. Cat.3).*

Parámetro	Unidad	Resultados	ECA (D.S. 004-2017 MINAM –Cat. 3)
Plomo	mg/l	0.62	0.05
Cadmio	mg/l	0.31	0.01

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

Según los datos mostrados en la tabla 15 indican que la media de los resultados obtenidos del análisis de los parámetros plomo y cadmio sobrepasan los estándares de calidad del agua (D.S.004-2017) categoría. 3. Agua para riego y bebida de animales.

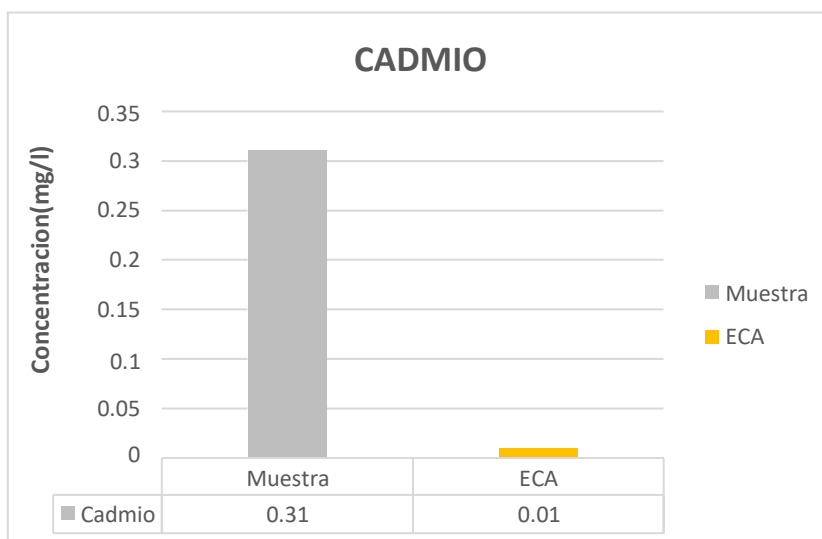


**Figura 8.** Comparación de la media de los resultados del plomo con los ECA para agua (D.S. 004-2017 MINAM).

**Fuente:** Elaboración propia

### Interpretación

Según la figura 8 se determinó que la concentración del plomo de las aguas de la quebrada Lechería del caserío Tumbacucho, Hualgayoc es muy alta, sobrepasando los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM, categoría 3), puesto que los resultados indican una concentración de 0.62 mg/l de plomo en el agua y la concentración según los ECA debe ser de 0.05 mg/l.



**Figura 9.** Comparación de la media de los resultados de cadmio con los ECA para agua (D.S. 004-2017 MINAM).

### Interpretación

Según la figura 9, se determinó que la concentración de cadmio de las aguas de la quebrada Lechería del caserío Tumbacucho, Hualgayoc es muy alta, sobrepasando los ECA para agua (D.S. 004 -2017 MINAM) categoría 3, puesto que los resultados indican una concentración de 0.31 mg/l de cadmio en el agua y la concentración según los ECA en la categoría 3, debe ser de 0.01 mg/l.



#### 4.1.2. Diseño de los humedales artificiales

Los humedales artificiales se construyeron de acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros analizados en el monitoreo de caracterización del agua de la quebrada Lechería, los cuales tienen los siguientes componentes:

15 cm	LAMINA DE AGUA
30 cm	SUSTRATO
15 cm	CALIZA
20 cm	GRAVA

*Figura 10.* Diseño de los humedales.

**Fuente:** Elaboración propia

Los dos humedales se construyeron con las siguientes medidas: 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 1 metro de profundidad, asimismo las plantas *Baccharis Latifolia* y *Plantago Major* fueron adoptadas durante 1 mes.

#### A. Tiempo de residencia por cada humedal

Para calcular el tiempo de retención para cada humedal se utilizó los siguientes datos:

**Tabla 16.** Datos para el cálculo del tiempo de retención.

<b>Caudal (m3/h)</b>	<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Prof. (m).</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Tres. (h) humedales</b>
<b>0.14</b>	Gravilla	0.25	0.20	6.0	2.14
	Caliza	0.05	0.15		0.32
	Sustrato	0.30	0.30		3.85
	Lámina de agua	1.00	0.15		6.43
<b>Total</b>				<b>12.75</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.1.3. Diseño de toma de muestras del agua tratada por los humedales artificiales.**

Una vez construido y puesto en funcionamiento el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales, se procedió en los tres humedales construidos a la recolección de muestras de agua tratada, el proceso para la recolección de las muestras se realizó de la siguiente manera:

#### **Punto 2: Muestras (MS4, MS5, MS6, MS7, MS8, MS9, MS10, MS11 Y MS12) tomadas de los humedales artificiales.**

**Tabla 17.** Diseño de toma de muestra de agua tratada mediante los humedales artificiales.

<b>Punto</b>	<b>Tiempo de retención(H)</b>	<b>Volumen de la muestra (ml)</b>	<b>Hora de muestreo</b>	<b>Fecha de muestreo</b>
--------------	-------------------------------	-----------------------------------	-------------------------	--------------------------

<b>Humedal N°1</b>				
<b>Punto 1</b>	12	250 ML	6:00 a. m.	25/12/2022
<b>Plantago</b>	24	250 ML	18:00 p. m.	25/12/2022
<b>Major</b>	36	250 ML	6:00 a. m.	26/12/2022
<b>Humedal N°2</b>				
<b>Punto 2</b>	12	250 ML	6:00 a. m.	25/12/2022
<b>Baccharis</b>	24	250 ML	18:00 p. m.	25/12/2022
<b>Latifolia</b>	36	250 ML	6:00 a. m.	26/12/2022
<b>Humedal N°3</b>				
<b>Punto 3</b>	12	250 ML	6:00 a. m.	25/12/2022
<b>Mixto</b>	24	250 ML	18:00 p. m.	25/12/2022
	36	250 ML	6:00 a. m.	26/12/2022

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.4. Resultados del análisis de las muestras de agua

**Tabla 18.** Resultados del análisis de las muestras de agua de la Quebrada Lechería.

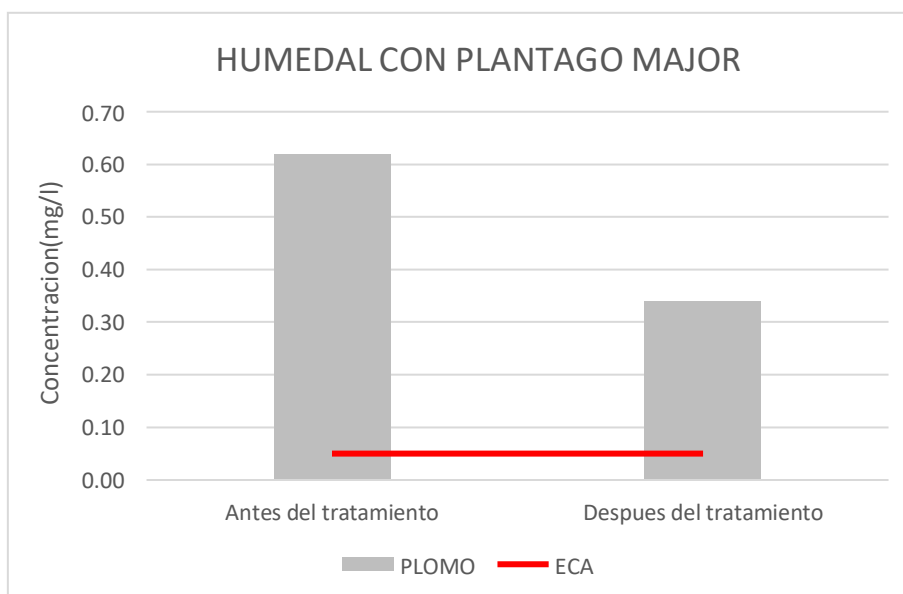
Parámetro	Unidad	Humedal con Plantago mayor			Humedal con Baccharis latifolia			Humedal mixto		
		12h	24h	36h	12h	24h	36h	12h	24h	36h
<b>Plomo</b>	mg/l	0.592	0.246	0.173	0.354	0.167	0.078	0.432	0.235	0.138
<b>Cadmio</b>	mg/l	0.047	0.029	0.021	0.020	0.009	<0.0065	0.039	0.016	<0.0065

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19.** Comparación de los resultados del plomo antes y después con los ECA para agua (D.S.004-2017-MINAM, Cat.3) mediante el humedal con Plantago Major.

Antes del tratamiento Mg/L	Después del tratamiento Mg/L	ECA (D.S.004-2017 MINAM) Mg/L
0.62	0.34	0.05

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 11.** Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM) en el humedal con Plantago Major.

### Interpretación

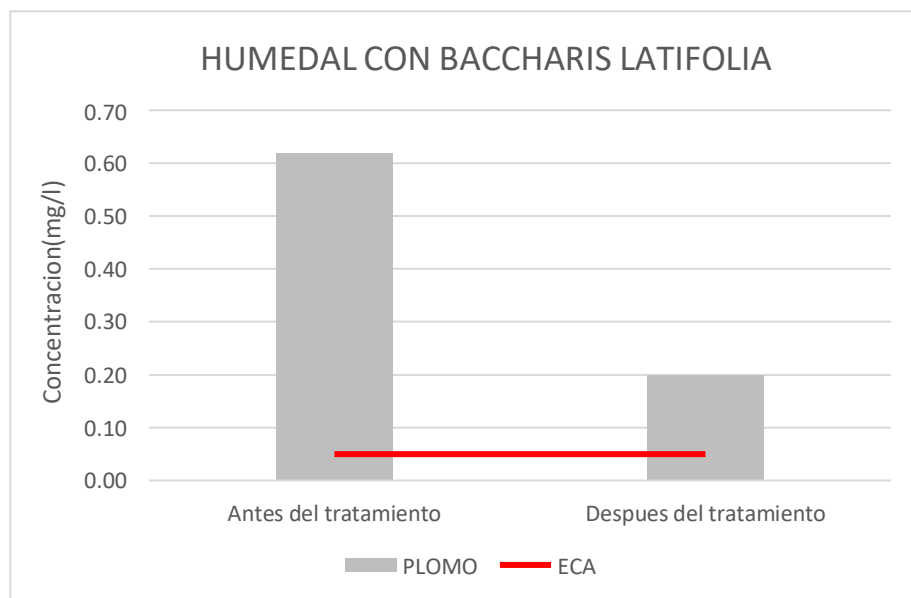
En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.05 (mg/L) para el plomo; el valor de la media antes del

tratamiento es de 0.62 mg/L y después del tratamiento con Plantago Major presenta un valor de 0.34 mg/L, lo que indica que ha reducido la concentración de plomo con respecto a la muestra inicial, pero aun así dicho valor no alcanza a estar dentro de los ECA para agua.

**Tabla 20.** Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017 MINAM) mediante el humedal con *Baccharis Latifolia*.

HUMEDAL N° 2. TRATAMIENTO CON BACCHARIS LATIFOLIA		
Antes del tratamiento Mg/L	Después del tratamiento Mg/L	ECA (D.S.004-2017 MINAM )
0.62	0.20	0.05

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 12.** Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017 MINAM) en el humedal con Baccharis Latifolia.

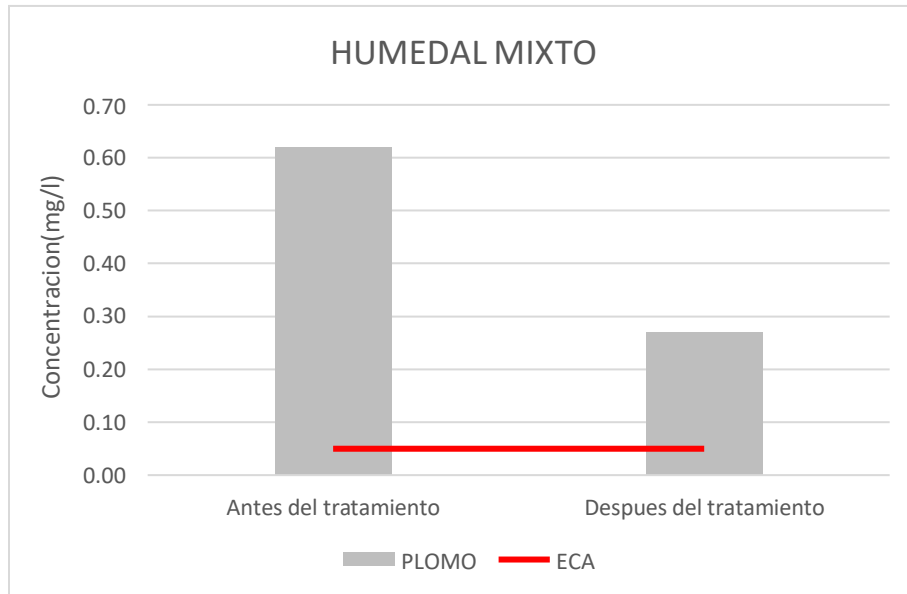
**Interpretación**

En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat.3), presenta un valor de 0.05 (mg/L) para el plomo; el valor de la media antes del tratamiento es de 0.62 mg/L y después del tratamiento con Baccharis Latifolia presenta un valor de 0.20 mg/L, lo que indica que ha reducido la concentración de plomo con respecto a la muestra inicial, pero aun así dicho valor no alcanza a estar dentro de los ECA para agua.

**Tabla 21.** Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal mixto.

<b>HUMEDAL N° 3. TRATAMIENTO MIXTO</b>		
<b>Antes del tratamiento Mg/L</b>	<b>Después del tratamiento Mg/L</b>	<b>ECA (D.S.004-2017- MINAM) Mg/L</b>
0.62	0.27	0.05

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 13.** Comparación de los resultados del plomo antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM) en el humedal mixto.

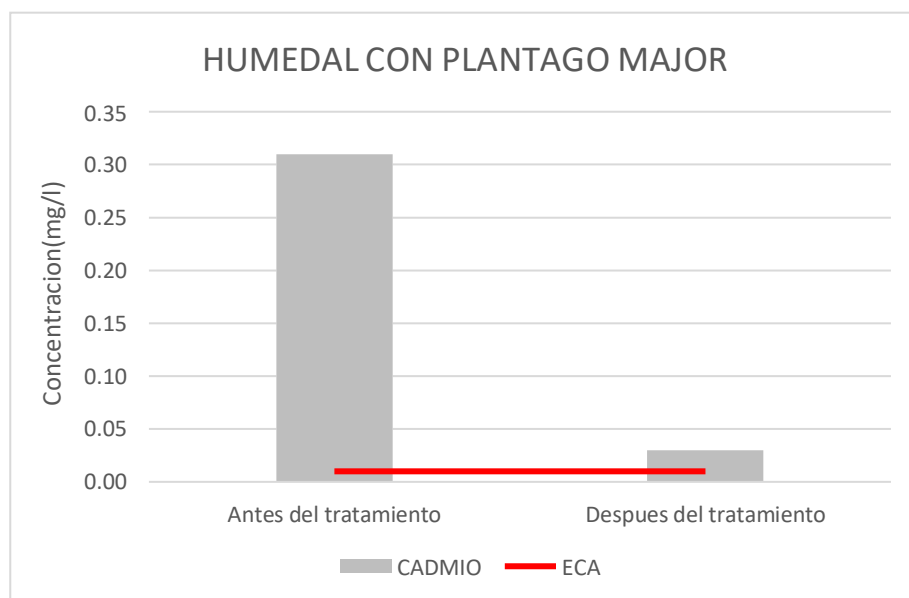
### **Interpretación**

En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.05 (mg/L) para el plomo; el valor de la media antes del tratamiento es de 0.62 mg/L y después del tratamiento mixto presenta un valor de 0.27 mg/L, lo que indica que ha reducido la concentración de plomo con respecto a la muestra inicial, pero aun así dicho valor no alcanza a estar dentro de los ECA.

**Tabla 22.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA para agua (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal con *Plantago major*.

HUMEDAL N° 1. TRATAMIENTO CON PLANTAGO MAJOR		
Antes del tratamiento Mg/L	Después del tratamiento Mg/L	ECA (D.S.004-2017- MINAM Mg/l
0.31	0.03	0.01

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 14.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM) en el humedal con Plantago Major.

### Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3). presenta un valor de 0.01 (mg/L) para el cadmio; el valor de la media antes del tratamiento es de 0.31 mg/L y después del tratamiento con Plantago Major presenta un valor de 0.03 mg/L, lo que indica que ha reducido la concentración de cadmio con

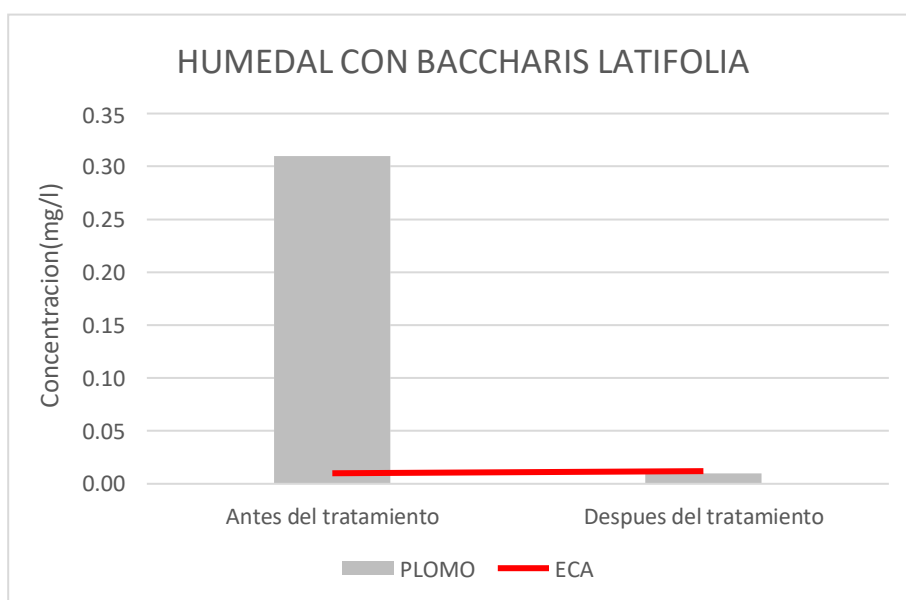


respecto a la muestra inicial, pero aun así dicho valor no alcanza a estar dentro de los ECA.

**Tabla 23.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal con *Baccharis Latifolia*.

HUMEDAL N° 2. TRATAMIENTO CON BACCHARIS LATIFOLIA		
Antes del tratamiento Mg/L	Después del tratamiento Mg/L	ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) Mg/L
0.31	0.01	0.01

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 15.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) en el humedal con *Baccharis Latifolia*.

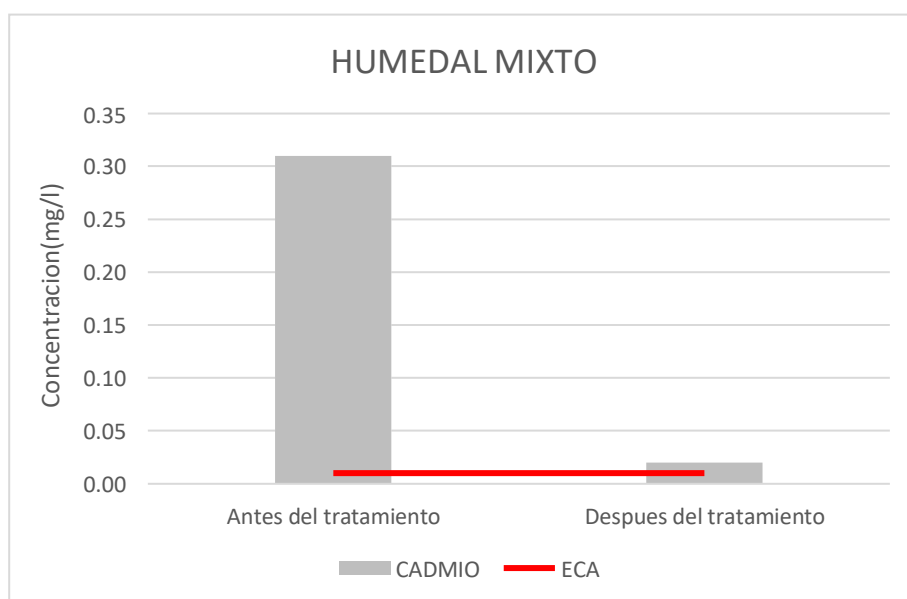
### Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.01 (mg/L) para el cadmio; el valor de la media antes del tratamiento es de 0.31 mg/L y después del tratamiento con *Baccharis Latifolia* presenta un valor de 0.01 mg/L, lo que indica que ha reducido significativamente la concentración de cadmio con respecto a la muestra inicial, llegando a estar dentro de los ECA.

**Tabla 24.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento mixto con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) mediante el humedal mixto.

HUMEDAL N° 3. TRATAMIENTO MIXTO		
Antes del tratamiento Mg/L	Después del tratamiento Mg/L	ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3) Mg/L
0.31	0.02	0.01

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 16.** Comparación de los resultados del cadmio antes y después del tratamiento con los ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat.3) en el humedal Mixto.

### **Interpretación**

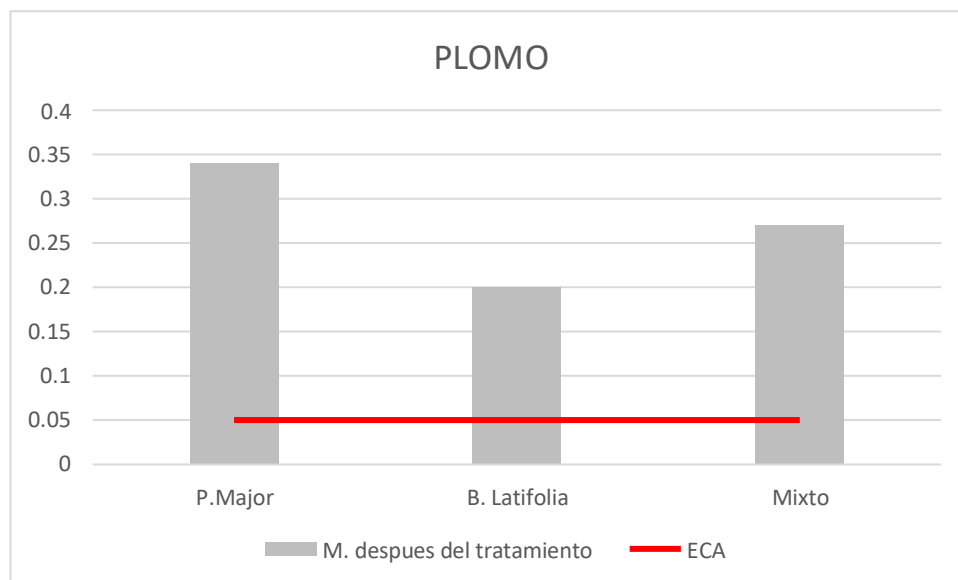
En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.01 (mg/L) para el cadmio; el valor de la media antes del tratamiento es de 0.31 mg/L y después del tratamiento mixto presenta un valor de 0.02 mg/L, lo que indica que ha reducido la concentración de cadmio con respecto a la muestra inicial, llegando a estar dentro de los ECA.

#### **4.1.5. Análisis de reducción de la concentración del plomo con respecto a los ECA.**

**Tabla 25.** Reducción de plomo en los tres humedales.

<b>HUMEDAL</b>	<b>UND</b>	<b>DESPUES DEL TRATAMIENTO</b>	<b>ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3)</b>
<b>Plantago major</b>	mg/l	0.34	0.05
<b>Baccharis latifolia</b>	mg/l	0.20	0.05
<b>Mixto</b>	mg/l	0.27	0.05

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 17.** Reducción del plomo en los tres humedales.

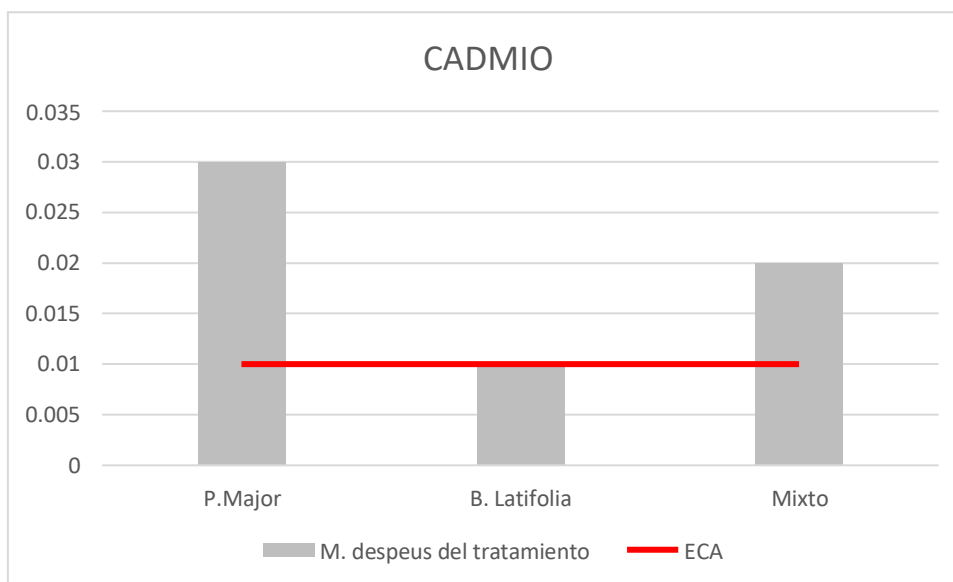
### Interpretación

En el gráfico mostrado se observa que el ECA (D.S.004-2017- MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.05 mg/L para el plomo; después del tratamiento en los humedales con *Plantago major*, *Baccharis latifolia* y Mixto ha reducido la concentración de plomo con respecto a la muestra inicial, pero los valores no alcanzan a estar dentro de los Estándares de calidad ambiental para agua.

**Tabla 26.** Reducción de la concentración de cadmio en los tres humedales.

HUMEDAL	UND	DESPUES DEL TRATAMIENTO	ECA(D.S.004-2017-MINAM, Cat. 3)
<b>Plantago Major</b>	mg/l	0.03	0.01
<b>Baccharis Latifolia</b>	mg/l	0.01	0.01
<b>Mixto</b>	mg/l	0.02	0.01

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 18.** Reducción del plomo en los tres humedales.

### **Interpretación**

En el gráfico mostrado se observa que el ECA para agua (D.S.004-2017-MINAM, Cat. 3), presenta un valor de 0.01 (mg/L) para el cadmio; después del tratamiento con los humedales con Plantago Major, Baccharis Latifolia y Mixto ha reducido significativamente la concentración de cadmio, el humedal con B. latifolia ha logrado estar dentro de los ECA para agua.

#### **4.1.6. Remoción de metales tóxicos en sistema de humedales artificiales.**

Según Lopez , et al. (2002) para conocer la reducción de la concentración porcentual de los metales presentes en el tratamiento de agua ácida se da por la siguiente ecuación.

$$E\% = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

Donde:

E% = Eficacia de la eliminación

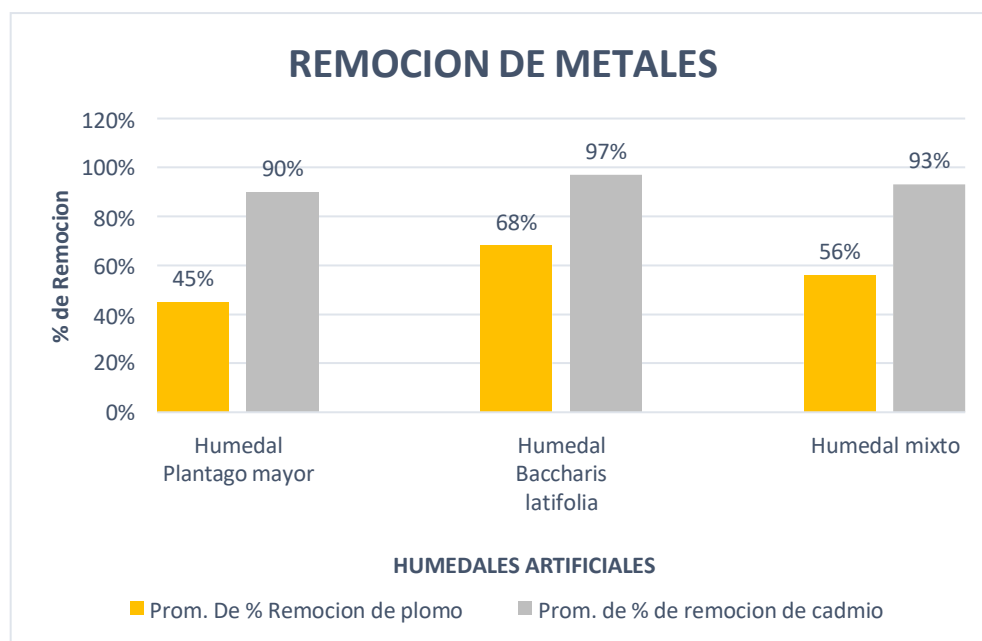
Cin = Concentración química en la entrada (mg/l)

Cout = Concentración química en la salida (mg/l)

**Tabla 27.** Resultado del promedio del porcentaje de remoción de plomo y cadmio en los humedales artificiales.

Parámetro	Humedal con Plantago mayor	Humedal con Baccharis latifolia	Humedal Mixto
Plomo	45%	68%	56%
Cadmio	90%	97%	93%

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 19.** Promedio del porcentaje de remoción de plomo y cadmio en el sistema de humedales.

### Interpretación:

En la figura 19 se observa el promedio de porcentaje de remoción para los parámetros de plomo y cadmio de cada humedal artificial, para el parámetro plomo en el humedal con P. Major tiene un valor de 45%, para el humedal con B. Latifolia tiene un valor de 68%, mientras que para el humedal mixto presenta un valor de 56% entonces se puede decir que la remoción de Pb del humedal con B. latifolia supera en porcentaje de remoción al humedal con P. Major y Mixto. Para el promedio del porcentaje de remoción de cadmio se tiene que el humedal con P. Major tuvo reducción de un 90%, el humedal con B. latifolia obtuvo un porcentaje de remoción del 97%, mientras que el humedal mixto obtuvo un valor de 93%, se concluye evidenciando que hay mayor porcentaje de remoción con B. latifolia.

#### 4.1.7. Análisis de metales totales en planta

**Tabla 28.** Resultados del análisis de los metales plomo y cadmio en las plantas.

Parámetro	Und	LC	RESULTADOS											
			B. Latifolia antes del tratamiento			P. Major antes del tratamiento			B. Latifolia después del tratamiento			P. Major después del tratamiento		
			R	T	H	R	T	H	R	T	H	R	T	H
Cadmio	mg/kg	0.05	5.3	4.4	1.8	4.8	2.0	3.2	42.26	37.71	23.65	18.83	20.84	15.70
Plomo	mg/kg	0.05	3.7	4.2	<0.05	3.9	<0.05	1.6	17.04	16.93	11.97	10.95	9.37	13.16

**Fuente:** Elaboración propia

### **Leyenda:**

**R:** Raíz

**H:** Hojas

**T:** Tallo

#### 4.1.8. Resultados de absorción de los metales plomo y cadmio en las plantas.

De acuerdo a los resultados del análisis en las especies vegetales *Baccharis Latifolia* y *Plantago Major* se realizó el cálculo de la capacidad de absorción de dichas especies aplicadas al tratamiento mediante la siguiente ecuación:

$$Abs = C_{fin} - C_{in}$$

Donde:

Abs = Capacidad de absorción de la planta (mg/kg)

C<sub>fin</sub> = Concentración química en la planta después del tratamiento (mg/kg)

C<sub>in</sub> = Concentración química en la planta antes del tratamiento (mg/Kg)

**Tabla 29.** *Resultados de absorción de metales totales en plantas.*

Parámetro	Und	LC	RESULTADOS	
			Baccharis Latifolia	Plantago Major
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	30.71	15.13
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	12.7	9.31

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.9. Procesamiento estadístico

##### A. Prueba de normalidad del plomo

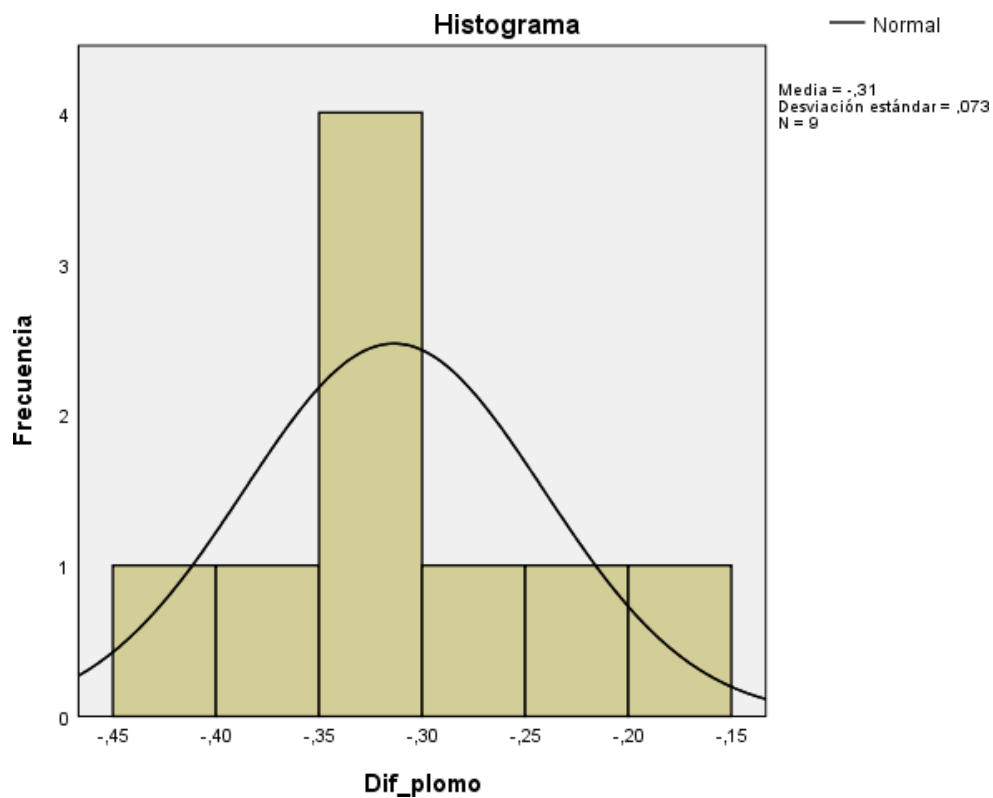
**Tabla 30.** *Prueba de normalidad de la diferencia del antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del plomo.*



Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Plomo	Chilca	,999	3	,953
	Llantén	,935	3	,507
	Mixto	,875	3	,311

Fuente: SPSS versión 26

**Interpretación.** La tabla 30 evidencia una significancia de shapiro-Wilk mayor al 0.05 en los tres humedales, siendo 0.953 para el humedal con P. Major, 0.507 para el humedal con B. Latifolia, 0.311 para el humedal mixto, indicando que los datos tienen un comportamiento normal.



**Figura 20.** Campana de Gauss para muestras relacionadas del parámetro plomo.

**Interpretación:** Los datos evidenciados en la figura 20 muestra un comportamiento estadísticamente normal, por ello, se realizará la prueba t de Student para determinar si existen diferencia de medias entre el antes y después de la aplicación de los tratamientos con B. Latifolia, P. Major y Mixto.

**Tabla 29.** Prueba de homogeneidad de varianzas entre tratamientos antes y después para reducción de plomo.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Antes_plomo	,000	2	6	1,000
Después_plomo	,809	2	6	,489

**Fuente:** SPSS versión 26

**Interpretación.** Mediante la prueba de Levene, no se evidenció varianza de medias entre grupos antes y de después de aplicar los tratamientos, ello por tener una significancia mayor al 5%, que acepta la hipótesis de igualdad de varianzas.

**Tabla 30.** Prueba de muestras relacionadas para el antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del cadmio en el agua.

Muestra			Diferencias relacionadas				t	Gl	Sig. (bilateral)
			Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia			
						Inferior Superior			
Llantén	Par 1	Antes_plomo - Después_plomo	,278333	,091850	,053029	,050166 ,506500	5,249	2	,034
Chilca	Par 1	Antes_plomo - Después_plomo	,415667	,024705	,014263	,354296 ,477037	29,142	2	,001
Mixto	Par 1	Antes_plomo - Después_plomo	,347000	,030643	,017692	,270878 ,423122	19,614	2	,003

**Fuente:** SPSS versión 26

**Interpretación.** La tabla muestra la prueba t de student para conocer si existe igualdad de medias entre el después y antes de aplicar los tratamientos, para ello, se toma en cuenta la significancia bilateral la cual fue en todos los grupos  $<0.05$ , indicando que debe rechazarse la hipótesis nula; aceptando que existen diferencias, asimismo la media del después y el antes evidencia reducción de plomo.

## B. Comparaciones múltiples

**Tabla 31.** Prueba de Scheffé para comparación de tratamientos antes y después de los tratamientos para reducción de plomo.

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente	(I) Muestra	(J) Muestra	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Antes_plomo	Llantén	Chilca	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568
		Mixto	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568
	Chilca	Llantén	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568
		Mixto	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568

Después_plomo	Mixto	Llantén	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568
		Chilca	,000000	,107782	1,000	-,34568	,34568
	Llantén	Chilca	,137333	,143285	,652	-,32222	,59689
		Mixto	,068667	,143285	,893	-,39089	,52822
	Chilca	Llantén	-,137333	,143285	,652	-,59689	,32222
		Mixto	-,068667	,143285	,893	-,52822	,39089
	Mixto	Llantén	-,068667	,143285	,893	-,52822	,39089
		Chilca	,068667	,143285	,893	-,39089	,52822

**Nota:** Base de datos

**Interpretación.** En la tabla 31 se observa como contrasta la prueba de Scheffé, quien presenta que antes de aplicar los tratamientos para reducir el plomo, las varianzas eran las mismas en Llantén, Chilca, mixto, pues solo se consideró una muestra en cada tiempo para los tres tratamientos; sin embargo, después de aplicar los tratamientos tampoco se evidenció estadísticamente significativa una desigualdad de varianzas, explicando que ambos tratamientos reducen en igual cantidad al plomo.

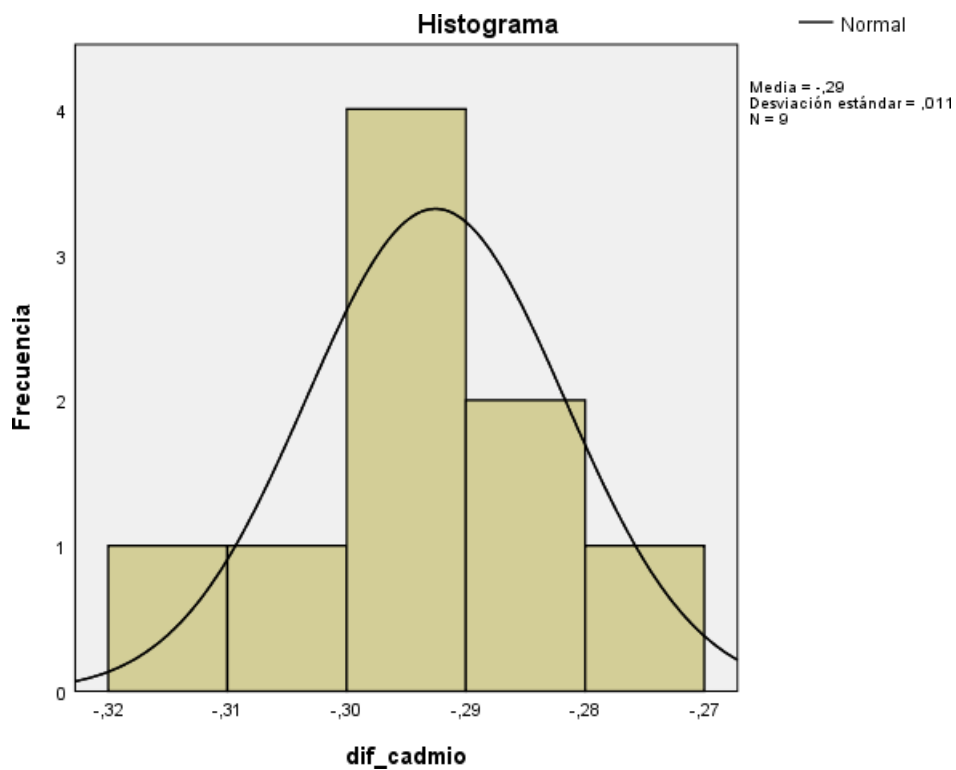
### C. Prueba de normalidad del Cadmio

**Tabla 32.** Prueba de normalidad para el antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del cadmio en el agua.

Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Cadmio	Chilca	,832	3	,194
	Llantén	,981	3	,739
	Mixto	,964	3	,637

**Fuente:** SPSS versión 26

**Interpretación.** La tabla 32 evidencia una significancia de shapiro-Wilk mayor al 0.05 en los tres humedales, siendo 0.194 para el humedal con P. Major, 0.739 para el humedal con B. latifolia, 0.637 para el humedal mixto, indicando que los datos tienen un comportamiento normal.



**Figura 21.** Campana de Gauss para muestras relacionadas del parámetro cadmio.

**Interpretación.** Los datos evidenciados en la figura 21 si muestra un comportamiento estadísticamente normal, por ello, se realizará la prueba t de Student para determinar si existen diferencia de medias entre el antes y después de la aplicación de los tratamientos.

**Tabla 33.** Prueba de homogeneidad de varianzas entre tratamientos antes y después para reducción de cadmio.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Antes_cadmio	,000	2	6	1,000
desp_cadmio	1,131	2	6	,383

**Fuente:** SPSS versión 26

**Interpretación.** Mediante la prueba de Levene, no se evidenció varianza de medias entre grupos antes y de después de aplicar los tratamientos, ello por tener una significancia mayor al 5%, que acepta la hipótesis de igualdad de varianzas. Significa que no existe diferencias entre los grupos del antes y después.

**Tabla 34.** Prueba de muestras relacionadas para el antes y después de la aplicación de tratamientos para reducción del cadmio en el agua.

							Diferencias relacionadas		t	Gl	Sig. (bilat eral)
Muestra			Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia					
					Inferio r	Superior					
Llantén	Par 1	desp_cadmio - Antes_cadmio	,281667	,004933	,002848	,269413	,293921	98,900	2	,000	
Chilca	Par 1	desp_cadmio - Antes_cadmio	,302333	,010599	,006119	,276005	,328662	49,407	2	,000	
Mixto	Par 1	desp_cadmio - Antes_cadmio	,293667	,003055	,001764	,286078	,301256	166,493	2	,000	

**Fuente:** SPSS versión 26

**Interpretación.** La tabla muestra la prueba t de student para conocer si existe igualdad de medias entre el después y antes de aplicar los tratamientos, para ello, se toma en cuenta la significancia bilateral la cual fue igual a  $0.000 < 0.05$  en los tres humedales, indicando que debe rechazarse la hipótesis nula; aceptando que hay diferencia, asimismo la media del después y el antes evidencia reducción de cadmio.



**Tabla 35.** Prueba de Scheffé para comparación de tratamientos antes y después de los tratamientos para reducción de cadmio.

<b>Comparaciones múltiples</b>							
Variable dependiente	(I) Muestra	(J) Muestra	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Antes_cadmio	Llantén	Chilca	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
		Mixto	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
	Chilca	Llantén	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
		Mixto	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
	Mixto	Llantén	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
		Chilca	,000000	,014306	1,000	-,04588	,04588
desp_cadmio	Llantén	Chilca	,020667	,010729	,236	-,01374	,05508

	Mixto	,012000	,010729	,567	-,02241	,04641
Chilca	Llantén	-,020667	,010729	,236	-,05508	,01374
	Mixto	-,008667	,010729	,734	-,04308	,02574
Mixto	Llantén	-,012000	,010729	,567	-,04641	,02241
	Chilca	,008667	,010729	,734	-,02574	,04308

Nota: Base de datos

**Introducción.** Lo contrasta la prueba de Scheffé, quien presenta que antes de aplicar los tratamientos para reducir el cadmio, las varianzas eran las mismas en Llantén, Chilca, mixto, pues solo se consideró una muestra en cada tiempo para los tres tratamientos; sin embargo, después de aplicar los tratamientos estadísticamente tampoco se evidenció significativa una desigualdad de varianzas, explicando que ambos tratamientos reducen en igual cantidad al cadmio.

#### 4.2. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran eficiencia en cada uno de los humedales, pues se ha logrado un resultado positivo para los metales plomo y cadmio, con respecto a este último el tratamiento mediante los humedales logró reducir la concentración hasta niveles aceptables por los estándares de calidad del agua en su categoría 3, y con respecto al plomo, si redujo significativamente la concentración, pero no logró estar dentro de niveles aceptables; por lo tanto la fitorremediación es uno de los medios que se puede utilizar para tratamiento como tecnología limpia y amigable para el ambiente ya que se emplean plantas.

En nuestro estudio se observa que el metal plomo para su reducción a demostrado más efectividad en el humedal 2 con *Baccharis Latifolia*, aun así, ninguno de los humedales logró reducir la concentración a niveles aceptables por los ECA en la categoría 3. En cuanto al cadmio se evidenció que los tres humedales presentan mayor reducción del metal, siendo el humedal con *Baccharis Latifolia* el más eficaz para la reducción de la concentración del mismo obteniendo un porcentaje de 96%. La aplicación de un sistema de humedales responde significativamente en el tratamiento de diversos metales tal como lo menciona *Franco et al.* un ensayo de remediación de suelos contaminados con metales pesados (Cd, Pb, As, Cr y Co) se encontró que la especie *B. latifolia* presenta gran eficacia en la absorción del metal cadmio, siendo este uno los tres primeros en presentar mayor concentración del metal en sus raíces y tallos por lo que se concluye que es una planta recuperadora de suelo, agua gracias a su capacidad de absorber diferentes metales e incorporarlos a su estructura, dando una comparación de que nuestros estudios obtuvimos un resultado casi similar; pues presenta más del 90% de eficacia.

*Bendezu (2021)* en su trabajo de investigación concluyó que la especie *Helianthus annuus* (misma familia que *Baccharis latifolia*) logra obtener valores de remoción de cadmio con (95 %) en el tratamiento con 2 plantas, mientras que el (97 %) con 4 plantas y (100%) con 6 plantas de *H. Anuuss*, porcentajes que hacen similitud a nuestros resultados, pues de obtuvo más del 90 % para cadmio.

Asimismo, *Duran (2010)* en su estudio “transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras” utilizó diversas especies, entre ellas *B. latifolia* para determinar la

presencia de metales pesados en las plantas en áreas cercanas a zonas mineras se determinó esta especie acumuló elevadas concentraciones de Pb en la parte aérea por lo que se sugiere como plantas hiperacumuladoras de este metal. Al comparar con nuestros resultados, nos indican que en efecto la planta si reduce los niveles de contaminación por plomo y es capaz de crecer con altas concentraciones tóxicas, pero en nuestro estudio logró reducir la concentración hasta niveles aceptables por los ECA (D.S. 004-2027 MINAM) en la categoría 3.

Con respecto al plomo; *Barrientos (2015)* en su trabajo de investigación de bioadsorción de plomo con *Baccharis Latifolia* obtuvo un porcentaje de adsorción de 80%, estos resultados se asemejan a nuestros estudios ya que se obtuvo porcentajes que sobrepasan el 60% en ese parámetro.

*Vega (2018)* en su trabajo de investigación concluye que la especie *Plantago major* tiene la capacidad de acumular más Zn y Pb en la raíz de la planta que en la parte aérea, lo que corrobora la habilidad de esta planta de crecer en suelos con elevados contenidos de estos metales. En nuestro estudio dicha especie no ha logrado ser tan eficaz pues ha presentado porcentaje de remoción menor al 50%.

Sin embargo, *Meza (2020)* concluye que la especie *Plantago Major* evaluada en condiciones de invernadero, presentó alto potencial de fitoestabilización, debido a su baja capacidad de acumular zinc y plomo, lo cual estaría relacionado al resultado de nuestros estudios, ya que no presentó mucha eficacia con respecto a la reducción del plomo.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Se concluye que el tiempo de retención influye de manera positiva en el porcentaje de remoción de los metales plomo y cadmio en los tres humedales (Plantago Major, Baccharis Latifolia y mixto) para el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Lechería del caserío Tumbacucho – Hualgayoc.
- Las especies vegetales que se utilizó fueron recolectadas del caserío Tumbacucho, Hualgayoc porque tienen la capacidad de adaptarse al mismo clima, estas fueron adaptadas durante un mes en los humedales.
- Se analizó los resultados de las muestras iniciales de los metales plomo y cadmio, donde se puede afirmar que con un 95 % de confianza la media de los resultados para el plomo es de 0.62 mg/l y 0.31 mg/l para el cadmio, los metales sobrepasan los estándares de calidad de agua (D.S. 004-2017 MINAM - CAT 3).
- Se comparó los resultados obtenidos después del tratamiento mediante humedales artificiales con los estándares de calidad del agua establecidos por el D.S. N°004-2017 MINAM, CAT 3, obteniendo que los humedales artificiales no son muy eficaces para el parámetro plomo, ya que si bien ha reducido la concentración aún sobrepasan dichos estándares, en este caso el humedal que presentó mayor eficacia fue el humedal con la especie B. latifolia ya que obtuvo porcentaje de remoción de 68%.

- Asimismo, se comparó los resultados obtenidos del parámetro cadmio después del tratamiento mediante humedales artificiales con los estándares de calidad del agua establecidos por el D.S. N°004-2017 MINAM, CAT 3, obteniendo que los humedales artificiales han presentado mayor eficacia para reducir la concentración de dicho metal, en este caso el humedal con *B. latifolia* logró ser más eficaz, pues logro reducir a una concentración menor a lo establecido por los ECA para agua en la categoría 3, con porcentaje de remoción del 97%.
- Estadísticamente no se ha demostrado diferencias significativas con respecto a los grupos de estudio para ninguno de los parámetros analizados.

## **5.2.Recomendaciones**

- Se recomienda que para un estudio de metales por fitorremediación a través de humedales siga siendo una alternativa básica ya que son efectivos para el tratamiento de aguas contaminadas por minas.
- Se recomienda que para utilizar plantas en los humedales deben pasar por un estudio científico para que ven cuales plantas tienen un alto porcentaje de retención de metales para así usar en aguas de mina que contengan altas cantidades de metales.

- Promover el uso de tecnologías limpias en nuestra localidad, así como en empresas que es de interés que emiten metales a la naturaleza tanto en aire, suelo y tierra.
- Es muy importante la protección de los humedales de las condiciones climáticas del lugar, ya que este es un factor que puede afectar el sistema.
- Se recomienda tener más consideración en cuanto al tiempo de retención ya que aporta significativamente para la eficacia de absorción en metales como se ha podido observar en los resultados.
- Se recomienda adaptar con poca agua a las especies plantago major y baccharis latifolia ya que si se llega a inundar pasando 10 cm podría causar la putrefacción de las hojas y morir las especies ya que no son propias de ambientes acuáticos.

## **REFERENCIAS**

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina Generación y Tratamiento*. Instituto Geológico y Minero de España., Madrid.
- Ali Romeh, A. (2017). Phytoremediation of azoxystrobin and its degradation products in soil by *Plantago major* L. under cold and salinity stress. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 142, 21-31.
- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Obtenido de Alianza por el agua. Secretariado alianza por el agua/Ecología y desarrollo: <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/monografico3.pdf>
- Almeida, M., & Lima, G. (2014). *Análisis de la capacidad y tolerancia que presentan las especies forestales introducidas Callistemon y Schinus areira y las especies nativas Mimosa quitensis y Baccharis latifolia en suelos contaminados con Pb y Ni en el parque Zonal Puertas del sol*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Azcona, M., Ramirez, R., & Vicente, G. (2015). Toxic Effects of Lead. *Rev Esp Med Quir*, 20, 72-77.
- Baker, J., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1(1), 81-126.
- Barrientos, H. (2015). Bioadsorción de plomo (II) utilizando *Baccharis Latifolia* (Chilca). *Tesis de titulación*. Universidad Alas peruanas, Cusco.
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. Yucatan, Mexico: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- Bendezu, S. (2021). Remoción de suelo contaminado con cadmio, mediante fitorremediación con *Helianthus annuus* y *Medicago sativa*, Lima, 2021. *Tesis de titulación*. Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Berit, A. (2000). The traditional uses, chemical constituents and biological activities of *Plantago major* L. *Ethnopharmacol*, 71(1), 1-21.
- Blanco, B., Saborio, A., & Garro, G. (2008). *Descripción anatómica, propiedades medicinales y uso potencial de Plantago major*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Brady, N., & Weil, R. (2002). *The Nature and Properties of soils* (13th Edition ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Bros, T. (2006). Utilización de Sistemas Pasivos para Mejorar la Calidad de las Aguas en Lagos Mineros: Aplicación a un caso de estudio. *Tesis Ph.D. Oviedo. España*. Universidad de Oviedo.



- Callupe, A., & Espinoza, K. (2019). Uso de llantén (plantajo mayor) en el tratamiento de quemaduras de primer grado, en personas de 10 a 20 años – Paucartambo –Pasco – Marzo – Junio del 2018. *Tesis de titulacion*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Pasco, Peru.
- Cameselle, C., & Gouveia, S. (2019). Phytoremediation of mixed contaminated soil enhanced with electric current. *Journal of Hazardous Materials*, 95-102.
- Carpena , R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 1-3.
- Carrillo , G., Andrade, J., Hernandez, L., & Cobos, V. (2015). La fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. *Bioagrobiencias*, 8(2), 24-25.
- Cepeda, I. (2018). Determinacion de la capacidad biorremediadora de las especies Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers Y Verbesina crassiramea S.F. Blake sobre suelos contaminados con arsenico. *Tesis de maestria*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Chan, J., Cach, M., & Lopez, M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. *Revista Forestal del Perú*, 36(1), 22 - 46.
- Cristaldi, A., Oliveri, G., Hea Jho, E., Zuccarello, P., Grasso, A., Copat, C., & Ferrante, M. (2017). Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 309 - 326.
- Cueva, M., & Huallane, R. (2019). “Fitorremediación con Taraxacum officinale asistida con micorrizas para la remoción de cadmio en suelos contaminados, 2019”. *Tesis de titulacion*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Peru.
- Duran , P. (2010). Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana. *Tesis Doctoral*. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Duressa, T., & Leta, S. (2015). Determination of levels of As, Cd, Cr, Hg and Pb in soils and some vegetables taken from river moja water irrigated farmland at Koka Village, Oromia State, East Ethiopia. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 21(2), 352.
- Echave, J. (2019). Los pasivos mineros de Hualgayoc. *Hildebrandten sus trece*.
- FAO/OMS. (2008). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del codex sobre contaminantes de los alimentos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 101.

- Fernandez, D. (2014). Estudio de la acción hipoglucemiante y desinflamatoria de la chilca (*Baccharis Latifolia*) en la provincia de El Oro-2013. *Tesis de titulación*. Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- Ferniza, F., Amaya, A., Morales, G., & Barrera, C. (2017). Removal of Pb, Cu, Cd, and Zn Present in Aqueous Solution Using Coupled Electrocoagulation-Phytoremediation Treatment. *International Journal of Electrochemistry*. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2017/7681451>
- Franco, H., Crispin, C., Forero, S., Pombo, L., & Rodríguez, O. (2018). Phytoremediating Activity of *Baccharis Latifolia* in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(4), 38-43.
- Franco, H., Celis, C., Forero, S., Pombo, L., & Rodríguez, O. (2018). Phytoremediating Activity of *Baccharis Latifolia* in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(4), 38-43.
- Gallegos, A. (2019). *Monitoreo de la calidad ambiental en la Ex Unidad Minera Colquirrumi*. Hualgayoc.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Universidad Politécnica de Catalunya, Ingeniería hidráulica, marítima y ambiental, Catalunya. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia\\_and\\_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ghosh, M., & Singh, S. (2005). A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of Its by Products. *Energy Env*, 6(4), 214-231.
- Gonzales, C. (2011). Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597.
- Guerra, P. (2016). *Evaluación de la actividad antioxidante bioautográfica de dos variedades de aceites andinos *Clinopodium nubigenum*(Kunt) Kuntze y *Baccharis Latifolia* (Ruiz&Pav.)Pers.* Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador.
- Halverson, N. (2004). *Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands*. U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Merino, Y., & Cartaya, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivo tropicales*, 40(3). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es).
- Hoyos, K., & Yep Chu, M. (2008). Diseño de una formulación de aplicación tópica a base de *Baccharis Latifolia* (Chilca), con efecto antiinflamatorio. *Tesis de titulación*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

- Huaman, C. (2018). *Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte insuitable IV Yanacocha norte por el proceso de humedales en serpentín*. Universidad Privada del norte, Cajamarca, Peru.
- Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. [tesis de titulación]. Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 167 – 182. doi:10.1093/bmb/ldg032
- Jimenez, E., & Ramos, B. (2019). Evaluación de la eficiencia fitorremediadora de *Lupinus pubescens*, *Plantago major* y *Scirpus californicus* en suelos contaminados con arsenico. [Tesis de titulación]. Universidad Politecnica Salesiana, Quito.
- Juan, I., Parra, J., & Garcia, A. (2010). *Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Universidad Complutense de Madrid.
- Kefeni, K., Msagati, T., & Mamba, B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery. A review. *Journal of Cleaner Production*, 151, 475-493.
- Leon, V. (2017). *Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de La Compañía Minera Lincuna SAC, en condiciones de Invernadero, 2015-2016*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Ancash, Peru.
- Loja, B., Alvarado, A., Salazar, A., Ramos, E., & Jurado, B. (2017). Cribado fitoquímico del *Baccharis Latifolia*(R&P) Pers. (Chilca). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1), 1-7.
- Lopez , E., Aduvire, O., & Baretino , D. (2002). *Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro*. Madrid, España.
- Lopez, A. (2018). *Administración estratégica para el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S. A*. Universidad Nacional del centro del Peru, Huancayo, Peru.
- Lopez, E., Alduvire , O., & Baretino , E. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. 113, 3-21.
- Lopez, M., & Grau, J. (2005). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular*. España: : Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.

- Lopez, P. (2011). *Determinación de la capacidad de sorción de arsénico de plantas representativas de la flora de Mayoc*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Maqueda , A. (2003). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. Puebla: Departamento de Química y Biología, Universidad de las Americas.
- Martinez, V. (2005). *El mundo de las plantas*. Obtenido de Botanical: <<http://www.botanical-online.com/>>
- Meers, E. (2004-2005). Phytoextraction of heavy metals from contaminated dredged sediments. [*Tesis de doctorado*]. Ghent University, Belgica.
- Mendoza, E. (2017). Tolerancia y acumulación del plomo en *Baccharis Pentlandii* Dc según tratamiento de substratos con relaves mineros. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 46-52.
- Meza, K. (2020). Capacidad fitoestabilizadora del *Plantago* mayor y *Trifolium repens* en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb. [*Tesis de titulación*]. Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion, Huacho, Peru.
- Miles, C., Brandle, J., Daniel, D., Chu, O., Schnare, P., & Uhlik, D. (1972). Inhibition of PS II in isolated chloroplast by lead. *Plant Physiol*, 49, 820-825.
- Minsal. (2014). Vigilancia Biológica De La Población Expuesta a Cadmio. Beneficiario De La Ley. *Ministerio de salud*, 1-35.
- Montalvan , A., Estrada , K., Sanz, Z., Brigido, O., & Caparros, Y. (2015). *Humedales artificiales: una alternativa para el tratamiento de residuales líquidos en la comunidad*. doi:10.13140/RG.2.1.4333.2967
- Mora, Y., & Merchan, N. (2008). Restauracion en explotaciones de minas caliza. (27), 10.
- Morel, J., Mench, M., & Guckert, A. (1986). A measurement of Pb, Cu, Cd binding with mucilage exudates from maize (*Zea mays* L.) roots. *Biol. Fertil. Soils*, 2, 29-34.
- Mostacero, J., Yabar, H., Lopez, E., Zelada, W., De la Cruz, A., & Gil, A. (2021). Identification, Mapping and Ethnobotany of Plant Species in the Peruvian High Andean Wetlands: Stimulating Biodiversity Conservation Efforts towards Sustainability. *Journal of Sustainable Development*, 14(2), 66-81.
- Nava Ruiz, C., & Mendez Armenta , M. (2010). *Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante fitotecnologías*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.
- Nazar , R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M., Syeed, S., & Khan, N. (2012). Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American Journal of Plant Sciences*, 3(10), 1476.
- Nedelkoska , T., & Doran, P. (2000). *Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining*. Minerals engineer.

- Nordstrom , K., & Alpers, C. (1999). pH negativo, minerología eflorescente y consecuencias para restauración ambiental. *Academia natural*, 3455-3462.
- OMS. (1997). *Criterios de la salud ambiental*. Ginebra.
- Ordoñez, A. (1999). Sistemas de tratamiento pasivo para aguas acidas de mina. *Tesis doctoral*. Universidad de Oviedo, España.
- Orduz, L., Prada, J., & Barrera, E. (2016). Baccharis latifolia: Una Asteraceae Poco Valorada con Potencialidad Química y Medicinal en el Neotrópico. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12, 92-105.
- Orellana, E. (2012). Tolerancia y acumulación del plomo en Baccharis Pentlandii Dc según tratamiento de substratos con relaves mineros. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 46-52.
- Ortiz, H., Trejo, R., Vadez, R., Arreola, J., & Flores, A. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en los suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L) y micorrizas. *Chapingo Serie Horticultura*, 161-168.
- Panez, M. (2013). *Propuesta para la restauración de suelos contaminados por metales pesados afectados por la actividad minera mediante el uso de fitoremediación*. Universidad Nacional agraria la Molina, Lima.
- Paredes, B. (2002). *Analisis de la chilca*. Ibarra - Ecuador.
- Pinto, J., & Bustamante, Z. (2008). *Evaluación de la actividad gastroprotectora de los extractos de llantén (Plantago major)*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Pompeu, G., Vilhena, M., Gratao, P., Carvalho, R., Rossi, M., & Martinelli, A. (2017). Abscisic acid-deficient sit tomato mutant responses to cadmium-induced stress. *Protoplasma*, 254(2), 83-771.
- Prado, L. (2000). *Contribución a la fenología de las especies forestales nativas andinas de Bolivia y Ecuador*. Ecuador: FOSEFOR.
- Rivas Hernández, A., & Paredes Cuervo, D. (2014). *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*. Michoacán, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Robles Pueco, M. (2013). *Evaluación de Sistemas de fitorremediación de agua residuales dentro de una refinería*. Veracruz, México: Instituto de Ecología A. C.
- Romeh, A. (2015). Evaluación del potencial de fitorremediación de tres especies de plantas para suelos contaminados con azoxistrobina. *Revista internacional de ciencia y tecnología ambiental*, 12, 3509–3518.
- Sanchez Borron, G., & Casermeiro Martínez, M. Á. (2006). *Ecotoxicología del cadmio*. Universidad Complutense.

- Sanchez, I. (2012). Fitorremediación una tecnología que involucra a plantas y microorganismos. *CIDCA*, 55.
- Senior, W. (2014). *Diagnóstico y evaluación de la contaminación por metales pesados en los sedimentos superficiales del Estero Santa Rosa, Provincia de El Oro*. Obtenido de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/4831>
- Seregin, I., & Ivanov, V. (1997). Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants. *Fiziol Rast*, 44, 915-921.
- Sharma, P., & Shanker, R. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 35-52. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>.
- Siguenza, J. (2016). *Determinación de metales pesados, arsénico, cadmio y plomo en conchas prieta (Anadara Tuberculosa), extraídos de la desembocadura del río Pital*. Obtenido de [dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5598/1/11927.pdf](http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5598/1/11927.pdf)
- Song, Y., Jin, L., & Wang, X. (2017). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International journal of phytoremediation*. 19(2), 41-133.
- Vega, E. (2018). Capacidad de fitoacumulación de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) utilizando las especies de chocho silvestre (*Lupinus tomentosus*) y llantén (*Plantago mayor*) del relave de la planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”; Huaraz – Ancash – 2017. [tesis de titulación]. Universidad Nacional Santiago Antuanez de Mayolo, Ancash, Peru.
- Verma, S., & Dubey, R. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 645-655. Obtenido de [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00022-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00022-0).
- Villaseñor, J. (2002). *Procesos tecnológicos en el tratamiento de aguas (en línea)*. España. UCML. Recuperado el 19 de Agosto de 2014, de <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/master.asp>.
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., & Sun, W. (2017). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere*, 594-600.
- Zapata, J. (2019). *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en la región Piura*. Universidad de Piura, Piura.
- Zhao, Q., Whang, Y., Cao, Y., Chen, A., Ren, M., Ge, Y., . . . Li, L. (2014). *Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary liver, lung and gastric cancer, in Anhui province, Eastern China*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.086>.

ANEXOS

# *ANEXO A*

## *“FOTOGRAFIAS”*





**Fotografía 1.** Señalización del terreno para la construcción de humedales.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 2.**Exacavación de hoyos para los humedales.

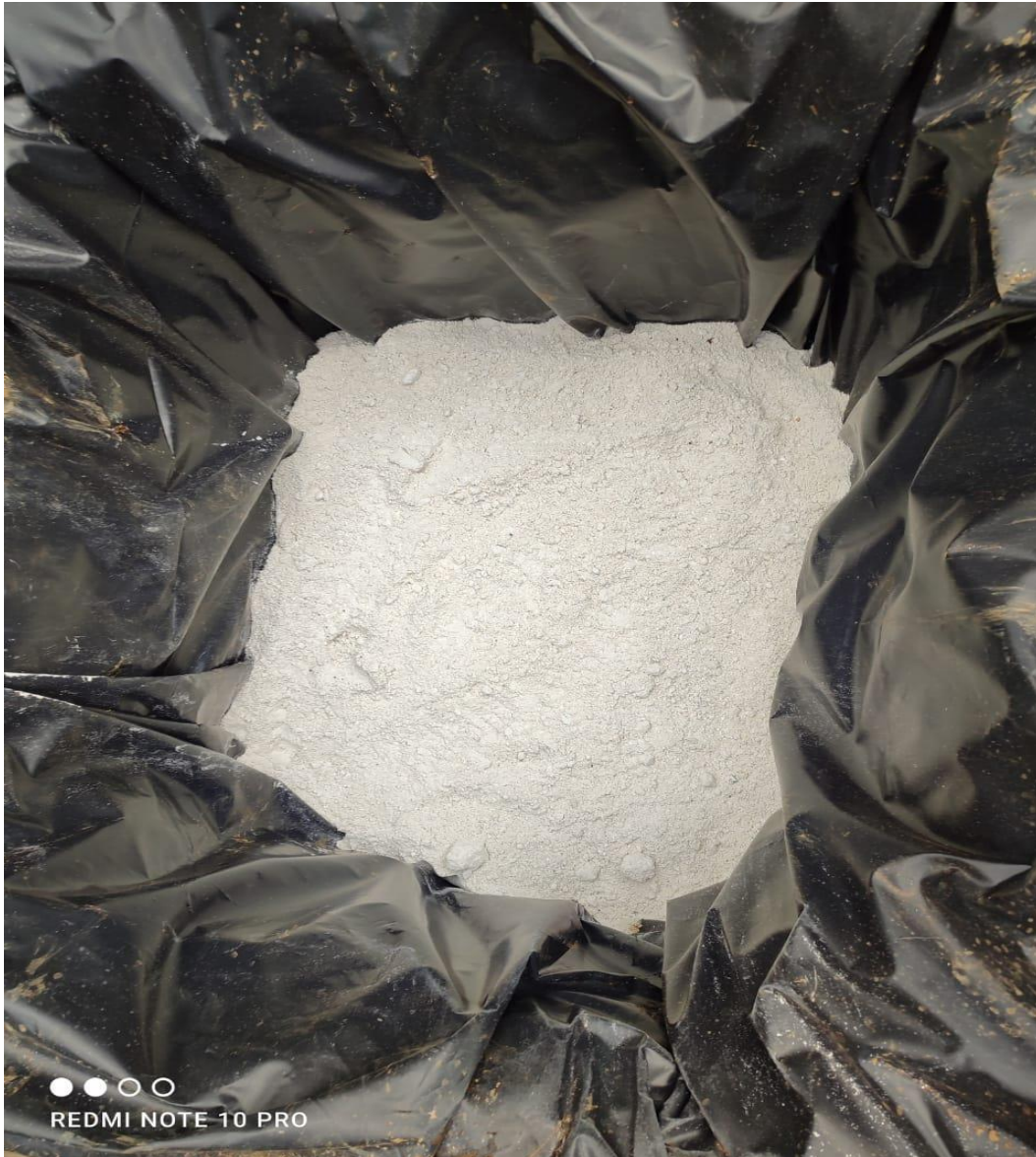
**Fuente:** Elaboración propia



**Fotografía 3.** Colocado de material grava previamente lavada a 20 cm.

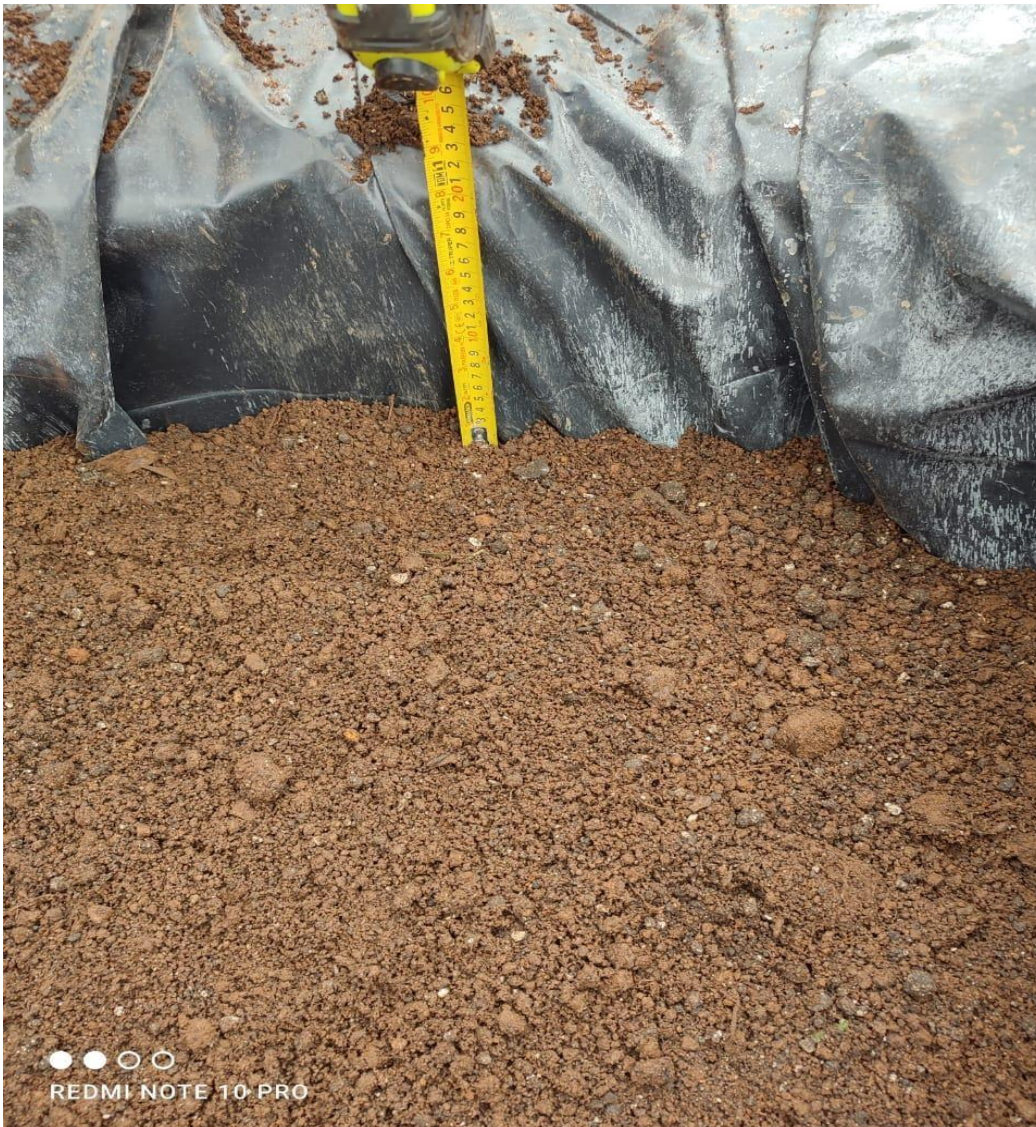
**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 4.** Colocado de cal en los humedales a 15 cm.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fotografía 5.** Colocado del sustrato en los humedales a 30 cm.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 6.** Adopción de la especie *Baccharis latifolia*.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fotografía 7.** Adopción de la especie *Baccharis Latifolia* y *Plantago Major* en el humedal mixto.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 8.** Inundación de los tres humedales.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 9.**Colocado de techo a los humedales.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 10.** Recolección de la muestra inicial antes del tratamiento.

**Fuente:** Elaboración propia



**Fotografía 11.** Recolección de muestras obtención de resultado final.

**Fuente:** Elaboración propia.





**Fotografía 12.** Recolección de especies vegetales de los humedales para análisis de laboratorio.

**Fuente:** Elaboración propia

***ANEXO B***

***“RESULTADOS DE  
ENSAYOS REALIZADOS”***



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO No LE 026



## INFORME DE ENSAYO

T-1914-L222-JESSY

Pág. 01 de 05

CLIENTE : JESSY JANETH INOSTROZA ORTIZ  
JR. MARISCAL SUCRE NRO. 172 HUAGAYOC

METODO DE ENSAYO : Fisico-Químico, Químico, Microbiológico

ITEM DE ENSAYO : Agua Superficial

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de plástico y vidrio  
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Trujillo, 30 de Diciembre de 2022  
Hora: 08:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 30 de Diciembre de 2022

### MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección
Metales por ICP	EPA Method 200.7, Rev. 4.4	Ag 0.0035, Al 0.0069, As 0.0084, B 0.007, Ba 0.0063, Be 0.0059, Ca 0.1561, Cd 0.0065, Ce 0.0135, Co 0.0068, Cr 0.0063, Cu 0.0084, Fe 0.0098, Hg 0.0081, K 0.0918, Li 0.0150, Mg 0.1437, Mn 0.0059, Mo 0.0072, Na 0.1896, Ni 0.0081, P 0.0165, Pb 0.0079, Sb 0.0095, Se 0.0117, SiO2 0.0301, Sn 0.011, Sr 0.0110, Ti 0.0075, Tl 0.0095, V 0.0063, Zn 0.0089 (mg/L) *Límites de detección*

Sello	Fecha Emisión	Jefe Administrativo	Jefe del Laboratorio de Química
	9/01/2023	 Alexandra Aurazo	 Anthony Vivar Paredes

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL

> Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

> Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del ensayo analizado por un tiempo máximo de 5 días después de emitido el informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo requerimiento expreso del cliente

> Cuando el laboratorio no ha sido responsable de la etapa de muestreo (la muestra ha sido suministrada por el cliente), los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

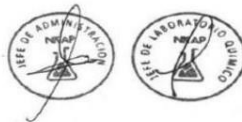
> Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

## INFORME DE ENSAYO

T-1914-L222-JESSY

Pág. 02 de 05

Código de Laboratorio			T-1914-01	T-1914-02	T-1914-03
Código de Cliente			MSE-1	MSE-2	MSE-3
Item de Ensayo			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			25/12/2022	25/12/2022	25/12/2022
Hora de Muestreo			06:00	18:00	06:00
Parámetro	Símbolo	Unidad			
<b>Metales Totales por ICP</b>					
Plata	Ag	mg/L	0.015	0.023	0.012
Aluminio	Al	mg/L	13.30	12.97	13.07
Arsénico	As	mg/L	0.134	0.128	0.136
Boro	B	mg/L	0.019	<0.007	<0.007
Bario	Ba	mg/L	0.057	0.063	0.037
Berilio	Be	mg/L	<0.0059	<0.0059	<0.0059
Calcio	Ca	mg/L	59.96	53.40	43.90
Cadmio	Cd	mg/L	0.332	0.313	0.297
Cerio	Ce	mg/L	0.019	0.023	0.014
Cobalto	Co	mg/L	0.021	0.025	0.014
Cromo	Cr	mg/L	0.015	0.015	<0.0113
Cobre	Cu	mg/L	2.96	2.81	2.23
Hierro	Fe	mg/L	10.62	10.33	9.24
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0081	<0.0081	<0.0081
Potasio	K	mg/L	2.76	2.98	1.80
Litio	Li	mg/L	<0.0193	<0.0193	<0.0193
Magnesio	Mg	mg/L	7.60	7.75	5.22
Manganeso	Mn	mg/L	11.22	10.54	11.39
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0072	<0.0072	<0.0072
Sodio	Na	mg/L	2.48	2.11	1.56
Níquel	Ni	mg/L	0.029	0.032	0.018
Fósforo	P	mg/L	1.70	2.00	1.20
Plomo	Pb	mg/L	0.776	0.560	0.520
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Selenio	Se	mg/L	<0.0117	<0.0117	<0.0117
Sílice	SiO <sub>2</sub>	mg/L	16.68	20.41	11.89
Estaño	Sn	mg/L	<0.011	<0.011	<0.011
Estroncio	Sr	mg/L	0.096	0.101	0.065
Titanio	Ti	mg/L	0.038	0.047	0.026
Talio	Tl	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Vanadio	V	mg/L	<0.0063	<0.0063	<0.0063
Zinc	Zn	mg/L	24.00	26.90	25.31



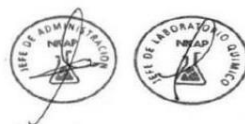


## INFORME DE ENSAYO

T-1914-L222-JESSY

Pág. 03 de 05

Código de Laboratorio			T-1914-04	T-1914-05	T-1914-06
Código de Cliente			MSS-4	MSS-5	MSS-6
Item de Ensayo			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			25/12/2022	25/12/2022	25/12/2022
Hora de Muestreo			06:00	06:00	06:00
Parámetro	Símbolo	Unidad			
<b>Metales Totales por ICP</b>					
Plata	Ag	mg/L	0.009	0.010	0.006
Aluminio	Al	mg/L	12.24	12.96	8.48
Arsénico	As	mg/L	0.075	0.084	0.054
Boro	B	mg/L	0.007	0.018	<0.007
Bario	Ba	mg/L	0.027	0.034	0.018
Berilio	Be	mg/L	<0.0059	<0.0059	<0.0059
Calcio	Ca	mg/L	57.64	54.32	45.26
Cadmio	Cd	mg/L	0.047	0.020	0.039
Cerio	Ce	mg/L	0.017	0.018	<0.0135
Cobalto	Co	mg/L	0.015	0.017	0.010
Cromo	Cr	mg/L	<0.0113	<0.0113	<0.0113
Cobre	Cu	mg/L	1.64	1.24	1.21
Hierro	Fe	mg/L	9.18	8.33	5.54
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0081	<0.0081	<0.0081
Potasio	K	mg/L	1.81	2.08	1.24
Litio	Li	mg/L	<0.0193	<0.0193	<0.0193
Magnesio	Mg	mg/L	5.61	6.10	4.08
Manganeso	Mn	mg/L	7.38	8.72	9.06
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0072	<0.0072	<0.0072
Sodio	Na	mg/L	1.76	2.12	1.13
Níquel	Ni	mg/L	0.019	0.024	0.012
Fósforo	P	mg/L	1.21	1.29	0.859
Plomo	Pb	mg/L	0.592	0.354	0.432
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Selenio	Se	mg/L	<0.0117	<0.0117	<0.0117
Sílice	SiO <sub>2</sub>	mg/L	11.42	14.11	8.84
Estaño	Sn	mg/L	<0.011	0.218	<0.011
Estroncio	Sr	mg/L	0.093	0.121	0.076
Titanio	Ti	mg/L	0.017	0.018	0.012
Talio	Tl	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Vanadio	V	mg/L	<0.0063	<0.0063	<0.0063
Zinc	Zn	mg/L	16.53	20.31	18.71

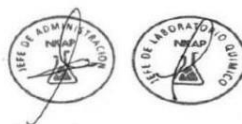


## INFORME DE ENSAYO

T-1914-L222-JESSY

Pág. 04 de 05

Código de Laboratorio			T-1914-07	T-1914-08	T-1914-09
Código de Cliente			MSS-7	MSS-8	MSS-9
Item de Ensayo			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			25/12/2022	25/12/2022	25/12/2022
Hora de Muestreo			18:00	18:00	18:00
Parámetro	Símbolo	Unidad			
<b>Metales Totales por ICP</b>					
Plata	Ag	mg/L	0.010	0.008	0.011
Aluminio	Al	mg/L	11.58	8.52	11.14
Arsénico	As	mg/L	0.086	0.064	0.099
Boro	B	mg/L	<0.007	<0.007	<0.007
Bario	Ba	mg/L	0.030	0.024	0.032
Berilio	Be	mg/L	<0.0059	<0.0059	<0.0059
Calcio	Ca	mg/L	59.55	56.54	57.95
Cadmio	Cd	mg/L	0.029	0.009	0.016
Cerio	Ce	mg/L	0.015	<0.0135	<0.0135
Cobalto	Co	mg/L	0.014	0.009	0.013
Cromo	Cr	mg/L	<0.0113	<0.0113	<0.0113
Cobre	Cu	mg/L	1.10	1.58	1.00
Hierro	Fe	mg/L	8.53	5.92	8.98
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0081	<0.0081	<0.0081
Potasio	K	mg/L	1.73	1.36	1.71
Litio	Li	mg/L	<0.0193	<0.0193	<0.0193
Magnesio	Mg	mg/L	5.53	4.59	5.30
Manganeso	Mn	mg/L	5.83	6.97	6.88
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0072	<0.0072	<0.0072
Sodio	Na	mg/L	1.68	1.44	1.61
Níquel	Ni	mg/L	0.018	0.012	0.016
Fósforo	P	mg/L	1.13	0.835	1.08
Plomo	Pb	mg/L	0.246	0.167	0.235
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Selenio	Se	mg/L	<0.0117	<0.0117	<0.0117
Sílice	SiO <sub>2</sub>	mg/L	12.21	10.23	12.30
Estaño	Sn	mg/L	<0.011	<0.011	<0.011
Estroncio	Sr	mg/L	0.099	0.096	0.097
Titanio	Ti	mg/L	0.019	0.015	0.021
Talio	Tl	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Vanadio	V	mg/L	<0.0063	<0.0063	<0.0063
Zinc	Zn	mg/L	14.37	18.66	12.99



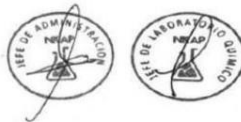


## INFORME DE ENSAYO

T-1914-L222-JESSY

Pág. 05 de 05

Código de Laboratorio			T-1914-10	T-1914-11	T-1914-12
Código de Cliente			MSS-10	MSS-11	MSS-12
Item de Ensayo			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			26/12/2022	26/12/2022	26/12/2022
Hora de Muestreo			06:00	06:00	06:00
Parámetro	Símbolo	Unidad			
<b>Metales Totales por ICP</b>					
Plata	Ag	mg/L	0.005	0.004	0.009
Aluminio	Al	mg/L	5.21	3.79	6.28
Arsénico	As	mg/L	0.062	0.040	0.103
Boro	B	mg/L	<0.007	0.010	<0.007
Bario	Ba	mg/L	0.015	0.019	0.025
Berilio	Be	mg/L	<0.0059	<0.0059	<0.0059
Calcio	Ca	mg/L	25.79	47.46	38.32
Cadmio	Cd	mg/L	0.021	<0.0065	<0.0065
Cerio	Ce	mg/L	<0.0135	<0.0135	<0.0135
Cobalto	Co	mg/L	<0.0068	<0.0068	<0.0068
Cromo	Cr	mg/L	<0.0113	0.012	<0.0113
Cobre	Cu	mg/L	0.851	0.684	0.956
Hierro	Fe	mg/L	4.67	3.25	6.30
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0081	<0.0081	<0.0081
Potasio	K	mg/L	0.839	0.941	1.103
Litio	Li	mg/L	<0.0193	<0.0193	<0.0193
Magnesio	Mg	mg/L	2.40	3.18	2.98
Manganeso	Mn	mg/L	5.32	5.13	4.10
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0072	<0.0072	<0.0072
Sodio	Na	mg/L	0.651	1.267	0.931
Níquel	Ni	mg/L	<0.0081	<0.0081	<0.0081
Fósforo	P	mg/L	0.519	0.415	0.607
Plomo	Pb	mg/L	0.173	0.078	0.138
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Selenio	Se	mg/L	<0.0117	<0.0117	<0.0117
Sílice	SiO <sub>2</sub>	mg/L	6.71	7.80	9.12
Estaño	Sn	mg/L	<0.011	<0.011	<0.011
Estroncio	Sr	mg/L	0.049	0.090	0.069
Titanio	Ti	mg/L	0.013	0.009	0.020
Talio	Tl	mg/L	<0.0095	<0.0095	<0.0095
Vanadio	V	mg/L	<0.0063	<0.0063	<0.0063
Zinc	Zn	mg/L	9.03	8.16	9.25



## INFORME DE ENSAYO

### N° 030098-23/AL/LABSAF - BAÑOS DEL INCA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : KELI ANALI CRUZADO MARRUFO  
 Propietario / Productor : KELI ANALI CRUZADO MARRUFO  
 Dirección del cliente : JR. ANGAMOS N° 985 - CAJAMARCA  
 Solicitado por : Cliente  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 06 muestra  
 Producto declarado : Pastos  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente  
 Procedencia de muestra(s) : Hualgayoc - Cajamarca  
 Fecha(s) de muestreo : 10/02/2023  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 13/02/2023  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliaves - LABSAF Baños del Inca  
 Fecha(s) de análisis : 01/03/2023  
 Cotización del servicio : 040-23-BI-001  
 Fecha de emisión : 03/02/2023

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ÍTEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	AL021-BI-23	AL022-BI-23	AL023-BI-23	AL024-BI-23	AL025-BI-23	AL026-BI-23		
Matriz Analizada	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto		
Fecha de Muestreo	10/02/2023	10/02/2023	10/02/2023	10/02/2023	10/02/2023	10/02/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	--	--	--	--	--	--		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	Tallo Chilca	Raíz Chilca	Hojas Chilca	Hojas Llantén	Raíz Llantén	Tallo Llantén		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
<b>Metales pesados</b>								
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	75,2	733,3	81,0	245,1	124,6	236,8
Arsenico (As)	mg/kg	0,05	2,5	2,7	1,9	1,4	2,2	0,8
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	4,6	2,4	4,0	4,7	3,1	1,9
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	9259,7	8132,6	14582,6	1015,1	2632,9	7350,5
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	4,4	5,3	1,8	3,2	4,8	2,0
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	<0,05	1,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	<0,05	2,5	<0,05	1,9	0,7	2,1
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	8,1	4,2	2,6	4,2	3,3	4,8
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	102,2	1581,2	141,7	322,2	751,1	315,7
Potasio (K)	mg/kg	0,05	16548,6	14783,3	28821,9	23956,8	13453,6	21157,7
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	777,4	1038,0	1582,3	1621,1	1501,5	1340,0
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	70,7	218,8	147,2	79,6	653,1	58,0
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	151,2	207,5	199,0	155,7	208,0	303,4
Niquel (Ni)	mg/kg	0,05	1,3	1,5	<0,05	<0,05	1,2	<0,05
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	4,2	3,7	<0,05	1,6	3,9	<0,05
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	7,6	4,1	8,3	33,5	28,0	34,5
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	64,0	47,9	76,7	93,3	232,0	89,0

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales pesados	NOM -117-SSA1-1994 (Modificado SENASA 2016)

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

(\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(\*\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc. Marieta Cervantes Peralta - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.



Firmado digitalmente por:  
 CABRERA HOYOS Hector  
 Antonio FAU 20131365994 soft  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 03/03/2023 09:32:15-0500

FIN DE INFORME DE ENSAYO

## INFORME DE ENSAYO

### N° 121060-22/PX/BAÑOS DEL INCA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : KELY ANALI CRUZADO MARRUFO  
 Propietario / Productor : KELY ANALI CRUZADO MARRUFO  
 Dirección del cliente : Jr. Angamos N° 985 - Cajamarca  
 Solicitado por : Cliente  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 06 muestras  
 Producto declarado : Suelo  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura  
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente  
 Procedencia de muestra(s) : Hualgayoc - Cajamarca  
 Fecha(s) de muestreo : 17/12/2022 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 19/12/2022  
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca  
 Fecha(s) de análisis : 27/12/2022  
 Cotización del servicio : 368-22-BI  
 Fecha de emisión : 28/12/2022

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	PX407-EEBI-22	PX408-EEBI-22	PX409-EEBI-22	PX410-EEBI-22	PX411-EEBI-22	PX412-EEBI-22		
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos		
Fecha de Muestreo	17/12/2022	17/12/2022	17/12/2022	17/12/2022	17/12/2022	17/12/2022		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	No indica	No indica	No indica	No indica	No indica	No indica		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	Raíz de chilca (Bracharis latifolia)	Hoja de chilca (Bracharis latifolia)	Tallo de chilca (Bracharis latifolia)	Raíz de llantén (Plantago mayor)	Hoja de llantén (Plantago mayor)	Tallo de llantén (Plantago mayor)		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
<b>Metales pesados</b>								
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	162,88	60,66	58,29	337,28	134,33	225,09
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	42,26	23,65	37,71	18,83	15,70	20,84
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	9,83	7,82	8,91	35,59	41,25	42,10
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	2,081,16	116,49	178,24	1,855,47	372,23	540,06
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	4,42	3,60	4,84	2,93	3,38	3,07
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	8,20	6,63	4,95	5,57	6,76	6,85
Níquel (Ni)	mg/kg	0,05	<0,05	1,45	1,41	1,39	1,79	1,44
Arsénico (As)	mg/kg	0,05	4,51	3,59	3,79	5,03	4,02	4,62
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	<0,05	1,10	1,27	<0,05	0,48	0,13
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	17,04	11,97	16,93	10,95	13,16	9,37
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	2,08	0,25	0,71	2,06	1,05	0,62
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	186,07	87,67	79,15	288,40	205,02	203,80
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	1,41	0,73	0,77	1,27	0,87	1,01
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	623,73	66,50	92,28	533,57	187,04	358,39
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	203,72	127,74	102,83	473,44	203,43	254,82
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	9,375,15	12,926,54	14,886,73	15,398,56	7,684,18	3,279,03
Potasio (K)	mg/kg	0,05	17,086,10	25,017,44	11,590,84	20,534,31	17,391,69	26,795,87
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	1,092,03	1,100,24	630,37	2,227,12	2,810,16	3,206,46

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales pesados	NOM -117-SSA1-1994 (Modificado SENASA 2016)

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc. Marieta Cervantes Peralta - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.

Dr. Héctor Ananta Cabrera Hoyos  
 DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO