

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO**  
**BENEDICTO XVI**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE CADMIO UTILIZANDO**  
*Brassica juncea* **EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL DISTRITO DE**  
**QUIRUVILCA LA LIBERTAD**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Br. Edwin Ivan León Casio

Br. Alex Joel Benites Carlos

**ASESOR**

Mg. Ing. Janet Edith Gonzales Valdivia

<https://orcid.org/0000-0002-4207-1320>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Conservación y manejo de la biodiversidad

**TRUJILLO**

2023

## CONFORMIDAD DEL ASESOR

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería:

Yo Mg. Ing. Janet Edith Gonzales Valdivia identificada con DNI N° 18132163, en calidad de asesora del trabajo de investigación **“CAPACIDAD DE FITORREMEDIACIÓN DE CADMIO UTILIZANDO Brassica juncea EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL DISTRITO DE QUIRUVILCA LA LIBERTAD”** desarrollada por los bachilleres Benites Carlos Alex Joel y Leon Casio Edwin Ivan con DNI° 70483759 y DNI N°70815071 respectivamente, egresados del Programa Profesional de Ingeniería Ambiental considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponden con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de clasificación designada por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.



---

Mg. Ing. Janet Edith Gonzales  
Valdivia

ASESOR

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.**

Fundador y Gran Canciller de la UCT Benedicto XVI

**Dra. Mariana Geraldine Silva Balarezo**

Rectora

**Dra. Mariana Geraldine Silva Balarezo**

Vicerrectora Académica

**Dr. Ena Cecilia Obando Peralta**

Vicerrector de Investigación

**Mg. Breitner Guillermo Díaz Rodríguez**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Dra. Teresa Reátegui Marín**

Secretario General

**PAGINA DE JURADO**



---

Mg. Ing. Fernando Saldaña Milla  
**PRESIDENTE**



---

Mg. Ing. Jurema Vega Basauri  
**SECRETARIO**



---

Mg. Ing. Janet Gonzales Valdivia  
**VOCAL**

## **DEDICATORIA**

### ***A mis padres***

*Juan León, Rufina Casio, quienes con cariño y esfuerzo me han acompañado en este proceso desde el primer día. Agradezco infinitamente por sus sacrificios y su apoyo constante por darme la fuerza y sabiduría para culminar este proyecto.*

### ***A mi familia***

*Ellos fueron mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de esfuerzo y sacrificio.*

### ***A mis hermanas***

*Gracias por su motivación y por enseñarme que los obstáculos se superan con esfuerzo, dedicación y sacrificio.*

***Edwin Ivan Leon Casio***

***Autor***

## **DEDICATORIA**

*A Dios y la Virgen María*

*Dedico mi tesis en primer lugar, por darme salud y sabiduría de llegar a culminar una de mis metas.*

*A mis padres*

*Pedro Benites y Betty Carlos, Por motivarme a continuar en mi formación profesional y todo su amor que me mostraron durante todo este camino.*

*Y finalmente*

*A los que creyeron en mí, con su apoyo incondicional, me ayudaron a que tenga más impulso y poder lograr esta meta.*

*Alex Joel Benites Carlos*

*Autor*

## **AGRADECIMIENTO**

*Expresamos nuestro agradecimiento a la Ing. Janet Gonzales Valdivia por su valiosa orientación y apoyo que nos brindó para poder desarrollar la presente tesis, ya que su experiencia y conocimiento en este tema fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis. También agradecemos a nuestros familiares por su apoyo incondicional en esta difícil etapa de nuestra vida. A nuestros docentes por su enseñanza y dedicación en nuestra etapa universitaria.*

***Los Autores***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>AUTORIDADES UNIVERSITARIAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>PAGINA DE JURADO</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRAC</b> .....	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>20</b>
2.1. Objetivos de la Investigación .....	20
<b>2.2. Diseño de Investigación</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3. Población y Muestra.</b> .....	<b>21</b>
2.4. Técnicas e Instrumentos de recojo de datos.....	22
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	23
2.5.1. Recolección del relave minero. ....	23
2.5.2. Recolección del suelo.....	23
2.5.3. Determinación de la concentración de cadmio del relave minero .....	23
2.5.5. Preparación de los sustratos .....	23
2.5.6. Determinaciones analíticas.....	24
2.5.7. Diagrama metodológico del proceso .....	25
2.6. Análisis de la Información .....	26
2.7. Aspectos éticos de la investigación .....	26
<b>III. RESULTADOS.</b> .....	<b>27</b>
3.1. Determinación de cadmio en la Relavera San Felipe en el distrito de Quiruvilca. ....	27
3.2. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en las raíces de la planta de <i>Brassica juncea</i> . ....	28
3.3. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en el tallo de la planta de <i>Brassica juncea</i> . ....	31
3.4. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio de la planta <i>Brassica juncea</i> . 34	
3.5. Validación de la hipótesis. ....	37
<b>IV. DISCUSIÓN</b> .....	<b>43</b>

<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>FOTOS .....</b>	<b>61</b>
<b>.....</b>	<b>61</b>

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diseño Experimental .....	20
Tabla 2: Tratamientos evaluados .....	22
Tabla 3: Concentración de cadmio de 4 puntos de la relavera San Felipe y del suelo agrícola. ....	27
Tabla 4: Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 3 .....	29
Tabla 5: Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 5 .....	30
Tabla 6: Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 3 .....	32
Tabla 7: Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 5 .....	33
Tabla 8: Fitorremediación de Brassica sp en Tratamiento 3 .....	35
Tabla 9: Fitorremediación de Brassica sp en Tratamiento 5 .....	36
Tabla 10: Prueba de Shapiro-Wilk para fitorremediación de la Raíz.....	38
Tabla 11: Anova Fitorremediación Raíz. ....	39
Tabla 12: Prueba de Shapiro Wilk para Fitorremediación Tallo.....	40
Tabla 13: Anova Fitorremediación Tallo .....	41
Tabla 14: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 3.....	29
Figura 2: Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 5.....	31
Figura 3: Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 3 .....	32
Figura 4: Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 5.....	34
Figura 5: Fitorremediación de Brassica sp en Tratamiento 3 .....	35
Figura 6: Fitorremediación de Brassica sp en Tratamiento 5 .....	37
Figura 7: Grafica de la Normalidad para la Fitorremediación de la Raíz.....	39
Figura 8: Grafica de la Normalidad para la Fitorremediación del Tallo .....	41
Figura 9: Recolectando suelo de Relavera San Felipe .....	61
Figura 10: Recolectando suelo agrícola de la zona de Quiruvilca .....	61
Figura 11: Mezcla de Relave minero con suelo agrícola.....	62
Figura 12: Crecimiento de plantas en los tratamientos.....	62
Figura 13: Plantas <i>Brassica juncea</i> en el Laboratorio.....	63

## RESUMEN

En la tesis de investigación se enmarcó en evaluar la capacidad de fitorremediación de la especie *Brassica juncea* para descontaminar los suelos con contenidos de cadmio del distrito de Quiruvilca. El trabajo presenta como principal objetivo la evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio utilizando *Brassica juncea* en el distrito de Quiruvilca. Para el desarrollo de nuestro trabajo se realizaron tratamientos efectuando mezclas de relave minero con suelo agrícola considerando cinco tratamientos: T1 (25% suelo agrícola-75 % relave minero), T2 (50% suelo agrícola-50% relave minero), T3 (75% suelo agrícola y 25% relave minero) T4 (100% relave minero), T5 (100% suelo agrícola). Los resultados evaluados fueron para los tratamientos T3 y T5. Primeramente, se determinó la concentración de cadmio en 4 puntos de la relavera San Felipe y 1 punto de suelo agrícola en la cual los resultados están por arriba de los límites máximos permisibles exigidos por el Estándar de Calidad Ambiental para suelos. Se sembraron las plantas de la especie *Brassica juncea* para luego ser trasplantadas en las mezclas preparadas para su evaluación. Se determinó la concentración de cadmio en las raíces y tallos de los tratamientos evaluados. Los resultados nos arrojaron que la concentración de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea* en el Tratamiento 3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero) fue de 0.8573 mg/kg que representa una capacidad de fitorremediación de 30.75 y en el tratamiento 5 (100% suelo agrícola) fue de 0.6884 mg/kg que representa el 49.65 %; la concentración de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea* en el Tratamiento 3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero) fue de 0.5259 mg/kg que representa una capacidad de fitorremediación de 18.86 % y en el tratamiento 5 (100% suelo agrícola) fue de 0.5174 mg/kg que representa el 37.32 %. La capacidad de fitorremediación de la *Brassica juncea* en suelos contaminados con cadmio fue de 49.62 % para el T3 y 86.98 % para T5. De la evaluación realizada se concluye que la especie *Brassica juncea* tiene una alta capacidad de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio.

Palabras clave: Fitorremediación, cadmio, *Brassica juncea*

## ABSTRAC

In the research work, the cadmium phytoremediation capacity was evaluate using the *Brassica juncea* species in the contaminated soils of the Quiruvilca district. The main objective of the work was the evaluation of the phytoremediation capacity of cadmium using Brassica sp. in the district of Quiruvilca. For the development of our work, treatments were carried out by mixing mining tailings with agricultural soil considering five treatments: T1 (25% agricultural soil-75% mining tailings), T2 (50% agricultural soil-50% mining tailings), T3 (75 % agricultural land and 25% mining tailings) T4 (100% mining tailings), T5 (100% agricultural land). The results evaluated were for treatments T3 and T5. Firstly, the concentration of cadmium was determined in 4 points of the San Felipe tailings dam and 1 point of agricultural soil in which the results exceed the maximum permissible limits required by the Environmental Quality standards for soils. The plants of the brassica sp species were sown to be later transplanted in the mixtures prepared for their evaluation. The concentration of cadmium in the roots and stems of the evaluated treatments was determined. The results showed us that the concentration of cadmium in the roots of the brassica sp. in Treatment 3 (75% agricultural land and 25% mine tailings) it was 0.8573 mg/kg, which represents a phytoremediation capacity of 30.75 and in treatment 5 (100% agricultural land) it was 0.6884 mg/kg which represents 49.65%; the concentration of cadmium in the stems of the plant Brassica sp. in Treatment 3 (75% agricultural land and 25% mine tailings) it was 0.5259 mg/kg, which represents a phytoremediation capacity of 18.86%, and in treatment 5 (100% agricultural land) it was 0.5174 mg/kg, which represents 37.32%. The phytoremediation capacity of cadmium in soils contaminated with cadmium using the species Brassica sp. it was 49.62% for T3 and 86.98% for T5. From the evaluation carried out, it is concluded that the *Brassica juncea* species has a high phytoremediation capacity in soils contaminated with cadmium.

Keywords: Phytoremediation, cadmium, *Brassica juncea*

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país donde la producción minera ha logrado ubicarse entre los primeros lugares como país productor de plata, zinc, estaño, plomo, oro y cobre y la mayor parte de la industria minera es desarrollado en la sierra y la selva por lo que es necesario la existencia de manejos responsables de los relaves de mina que tengan respeto al medio ambiente y a la sociedad en la que se involucre a las poblaciones aledañas a las industrias mineras. (Benavides, 2012).

Con el transcurrir del tiempo, la actividad minera ha dejado muchas minas en estado de abandono que no alcanzaron su cierre final y se convierten como grandes potenciales de contaminación que genera perjuicios irreversibles a la salud de pobladores y a los ecosistemas. Si bien es cierto que la actividad minera se volvió en una de las fuentes primordiales de riqueza para desarrollarse económica y socialmente a nivel del país, la falta de aplicación de la normatividad ambiental, las malas prácticas y la limitación de participar socialmente han creado una alta desconfianza en los pobladores de las zonas. (Sotomayor, 2016).

Otro de los problemas de la industria minera es que se generan relaves mineros que son fuentes contaminantes que se presentan en los tres estados, líquidos, sólidos o gaseosos y que afectan directa o indirectamente a los suelos. Su contaminación se da por diferentes medios como son por deposición de la atmósfera mediante partículas sedimentadas que son arrastradas por las lluvias, por la disposición de efluentes mineros o por la infiltración de lixiviados que se produce alrededor de las minas. (Romero, 2015).

En el año 2018 el Ministerio del Ambiente del Perú, solicitó al congreso de la República para debatir proyectos de ley que se encontraban en agenda referente a la problemática de contaminación del ambiente que es producida por la industria minera y en especial la que produce la minería informal que es desarrollada en la selva peruana y que no ha podido controlarse generando graves problemas medioambientales y la salud de los habitantes. (Escobar, 2018).

En la zona de la Libertad, se desarrolla la actividad exploratoria del oro como una de las principales en toda la región en la cual encontramos muchas empresas dedicadas a esta

explotación entre la que mencionamos las mineras Poderosa, Barrick, Horizonte, Misquichilca y muchos más, además de existir la explotación del oro por parte de la minería informal. En la actualidad existe un aumento de áreas ocupadas por concesionarias mineras ocupando un 48.3 % del área de la región ubicadas en la sierra central de la Libertad como son la zona de Pataz, Otuzco, Sánchez Carrión, y Santiago de Chuco. La preocupación existente por la población de Quiruvilca es por el abandono de la Minera Quiruvilca que se sitúa en la provincia de Santiago de Chuco en cuál en el año 2018 se declaró en estado de emergencia la localidad de Shorey por el posible desborde de los diques de la relavera que dejó la Minera Quiruvilca y que de suceder este desborde generaría la contaminación de todo el cauce del Rio Moche (OCM, 2018).

A raíz del desborde de los diques, la Empresa Minera Quiruvilca dejó de operar y abandonó todas sus instalaciones de las pozas relaveras que se sitúan en la zona alta del río Santa Catalina, las mismas que son una inminente fuente de contaminación para las poblaciones que emplean las aguas de este río como son Cerro Sango, Agallpampa, Shorey, Shiran, Laredo y otros (COEN, 2018).

Una de las relaveras que actualmente existen en situación de abandono, y que fue parte de la minera Quiruvilca, es la relavera San Felipe que afecta severamente en los centros poblados de Shorey Grande, Shorey Chico, entre otros, con problemas de contaminación por los metales pesados entre los que encontramos el cadmio.

Existe una responsabilidad social y un deber primordial de remediar la contaminación de los suelos a fin de contribuir a que los habitantes de las zonas aledañas a las actividades mineras, vivan en ambientes adecuados y tengan calidad de vida.

La fitorremediación como parte de la biorremediación se perfila como alternativa para descontaminar suelos por la presencia de relaves mineros y es por ello que el presente trabajo pretende aportar con procedimientos para tratar los suelos contaminados con cadmio, producto de la contaminación de la relavera San Felipe, en el distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento de la Libertad.

La biorremediación es un proceso que aprovecha organismos vivos para realizar degradaciones y transformaciones de contaminantes, utilizando sus habilidades catalíticas y, se desarrolla en ecosistemas de agua y suelo; siendo éste, un formidable potencial para el

amortiguamiento de la contaminación ambiental. Actualmente se está utilizando la diversidad genética y la capacidad metabólica de las bacterias, para conseguir que los contaminantes se conviertan en productos inocuos o menos tóxicos y que se integren a los ciclos biogénicos naturales. Cabe mencionar que existen técnicas aisladas en donde utilizan otros tipos de organismos vivos como, hongos y plantas (Garbisu y otros, 2002).

Según Cruz & Guzmán, (2007), los procesos de biorremediación se clasifican teniendo en cuenta el medio en que se realice siendo los principales la fitorremediación, la biorremediación animal y la biorremediación microbiana.

Para la Fitorremediación se utilizan plantas verdes para realizar procesos de remoción, contención o neutralizar los metales pesados y elementos orgánicos. En la biorremediación animal se utilizan animales que son capaces de desarrollarse en ecosistemas muy contaminados. En la biorremediación microbiana se utilizan microorganismos acumuladores, como las bacterias, algas.

La Fitorremediación es un proceso tecnológico, sostenible en el tiempo y que consiste en utilizar vegetales, con la finalidad de reducir, inmovilizar o degradar compuestos orgánicos o metales pesados y tóxicos, que son considerados como contaminantes en el suelo, agua y aire. Algunas especies vegetales se consideran híper acumuladoras, por la capacidad de captar metales pesados de suelos con altas concentraciones de estos; por los que se consideran tóxicos. Entre estos metales pesados se encuentran: cadmio, zinc, hierro, selenio, cobre, plomo, uranio, etc. (Baldwin & Butcher, 2007).

Según Delgadillo et al., (2011) manifiestan que la fitorremediación es una opción para el tratamiento de los contaminantes orgánicos e inorgánicos. Para tratar la contaminación inorgánica de los metales pesados, se utiliza la fitorremediación basada en la estabilización, extracción, volatilización y acumulación, debido a que los metales pesados son difíciles de degradar tales como el selenio y mercurio

Esta Fito tecnología es de gran ventaja en cuanto a la limpieza y economía, dado que para su aplicación no se requiere de reactivos químicos peligrosos y por tanto, no afecta la estructura del suelo. Se realiza de manera *in situ* y así evita gastos de transporte; además, su aplicación es con técnicas comunes en las actividades agrícolas (Cunningham, Berti, & Huang, 1995).

La fitorremediación, para ser eficiente, debe superar algunas limitaciones como la poca información sobre los mecanismos moleculares, físicos, biológicos y químicos de las plantas, cuando interactúan con los metales pesados; además de otras limitaciones. Sin embargo, se sabe la existencia de cierta cantidad plantas hiperacumuladoras que aún no han sido identificados. (Freitas, Prasad & Pratas, 2004).

Existen muchas especies arbóreas, arbustivas y herbáceas identificadas como fitorremediadoras y de ellas, 400 son plantas hiperacumuladoras. Entre las familias que se destacan están: Las *Flacourtiaceae*, *Cyperaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Caryophyllaceae*, *Lamiaceae*, *Europhobiaceae*, *Brassicaceae*, *Violaceae*, *Cunouniaceae* y *Poaceae*. Cabe referirse que, para la fitorremediación de metales pesados, son muy utilizados las plantas *Brassica juncea* y la *Helianthus annuus* (Volke, Velasco, & Pérez, 2005).

Los Mecanismos de la fitorremediación que utilizan las plantas fitorremediadoras son:

La Fitoextracción llamado así al proceso de absorción de contaminantes que se da por intermedio de las raíces de los vegetales; también es conocida como Fitoacumulación, por la capacidad que tienen las plantas de acumular en sus raíces, tallos y hojas a los contaminantes. Este mecanismo se estudia de manera amplia en plantas con capacidad de acumular metales (Jian et al., 1997).

Esta tecnología la podemos considerar a largo plazo, porque para llegar a los límites permitidos se debe realizar diversos ciclos para cultivar y para la reducción de contaminantes. El tiempo necesario va a depender de la cantidad de contaminación que exista, los tipos de contaminantes, el tiempo de crecimiento de las plantas y la capacidad de remoción de las especies que se utilicen. (Prasad & Freitas, 2003)

La Fitoestabilización es un proceso mediante el cual se utiliza las plantas, con la finalidad de reducir la absorción y movilidad de los contaminantes presentes en el medio ambiente y, de esta manera, evitar que se extienda hacia las capas del subsuelo o de la atmosfera; logrando mejorar las propiedades fisicoquímicas del medio ambiente. (Diez Lázaro, 2008).

La Fitovolatilización es un proceso basado en la utilización del potencial de descontaminación de las plantas mediante la volatilización de los contaminantes a partir de

los tallos y hojas, como una función de la actividad estomática de los vegetales, con el fin de eliminar los contaminantes del suelo; además de eliminar los del aire atmosférico (ITRC., 2009).

Se realiza cuando las plantas, en especial los árboles, están en crecimiento y absorben el agua que se encuentra contaminada con compuestos orgánicos e inorgánicos. En algunos casos llegan hasta las hojas para luego evaporarse al medio ambiente. (Prasad & Freitas, 2003).

Mediante esta técnica se puede eliminar contaminantes orgánicos como benceno, tolueno, xileno, nitrobenceno, etilbenceno, así como contaminantes inorgánicos como el As, Hg y Se (Burken & Ma, 2006).

Para la descontaminación de suelos con selenio mucho se han empleado las especies de *Brassica juncea*, *Chara canescens*, *Salicornia bigelovii* y *Astragalus bisulcatus*. (Shrestha et al., 2006). (Shrestha, et al, 2006).

La Fitodegradación es un proceso mediante el cual los vegetales degradan o convierten a los contaminantes en sustancias menos tóxicas como son los hidrocarburos, metales pesados, plaguicidas, etc., mediante reacciones ocasionadas por las enzimas de los vegetales con los microorganismos del suelo que están en las raíces. Los contaminantes son degradados o transformados de manera parcial o total y son absorbidos por los vegetales, como la lignina, y son fijadas en las vacuolas o las estructuras celulares insolubles (Núñez et al., 2004).

La Rizofiltración es una biotecnología utilizada para el tratar aguas residuales, basada en la biosorción que caracteriza a algunas plantas. Esta tecnología, a diferencia de las demás, emplea cultivos de hidroponía ya que, por sus raíces absorben, concentran y precipitan metales pesados con alta toxicidad concentrada en las aguas residuales. Como se puede referenciar, los procesos de fitorremediación utilizan mecanismos predominantes de los propios vegetales; sin embargo, en algunos casos se evalúa también las actividades microbianas en el proceso de remediación. De esta manera, podemos decir que la fitorremediación es un proceso complicado que necesita de la actividad de microorganismos incorporados en las raíces. (Núñez et al., 2004).

La Fitoestimulación es un proceso en el cual las plantas transportan, desde las fracciones superiores hasta sus raíces, azúcares, aminoácidos, compuestos alifáticos, oxígeno y nutrientes que los liberan alrededor de ellas y sirven para el crecimiento de microbacterias presentes en los suelos adyacentes y que, mediante su actividad microbiana, conllevan a la mineralización de los contaminantes. Dentro de estas microbacterias están los hongos y bacterias que poseen la capacidad de poder remover contaminantes de origen orgánico. (Núñez et al., 2004).

Las plantas que realizan procesos de fitorremediación siguen alguno de los mecanismos descritos anteriormente, con tres principales fases: Absorción, excreción y desintoxicación de los contaminantes.

Las raíces y las hojas realizan el proceso de absorción de los contaminantes utilizando los poros de la epidermis. (Watt & Evans, 1999).

Las raíces de plantas jóvenes inician el proceso para absorber a los contaminantes en la rizodermis mediante el fenómeno de osmosis, dependiendo de factores como pH y temperatura del suelo, peso molecular y la capacidad para retener el agua de los contaminantes. (Harvey et al., 2002).

La desintoxicación de contaminantes de la adsorción hecha por las raíces se excreta mediante el proceso de fitovolatilización y ocurre en las hojas de las plantas. Cuando existen grandes concentraciones de contaminantes, son excretadas mínimas cantidades (< 5%), por lo que la estructura química no sufre alteraciones o cambios. (López et al., 2005).

La desintoxicación de contaminantes es un proceso de desmineralización, en donde la planta genera dióxido de carbono por la degradación de los contaminantes orgánicos. En los casos que exista alta concentración, se usa la incineración controlada para luego desechar las cenizas en zonas adecuadas para este propósito. (López et al., 2005).

El aumento de la contaminación de los recursos suelo y agua ocasionada por la industria minera nos lleva a plantear desafíos para la remediación de las zonas contaminadas por el funcionamiento y operatividad de estas industrias. El proceso de cierre de minas, generalmente se da en periodos muy largos, que pueden llegar a ser años, por lo que presentan grandes dificultades para la solución de los problemas por la acumulación

de la cantidad de contaminantes presentes en las zonas de los relaves que tienen altos potenciales para causar daños al medio ambiente; además de tener una gran capacidad para resistir para biodegradarse (López, 2009).

El problema de cada clase de contaminación de suelos es diferente y única en la cual se deben aplicar métodos de acuerdo con cada caso. Existen métodos y técnicas convencionales limitadas a resolver problemas de contaminación en pequeñas áreas. Entre estas técnicas tenemos las siguientes

- ✓ Técnica de lixiviación utilizando agua o quelatos.
- ✓ Técnica de solidificación y estabilización por acción física o química entre el contaminante y el estabilizador (agente).
- ✓ Mediante técnica electrocinética en la que los iones de los metales migran hacia electrodos que se ubican en el suelo.
- ✓ Mediante oxidación - reducción química de los contaminantes para reducir el grado de toxicidad de los contaminantes.

Las técnicas mencionadas también presentan desventajas como: Elevados costos para su aplicación, pérdida de microorganismos vivos presentes en el suelo, variación estructural del suelo y, reducidas áreas de acción (Llugany et al., 2007).

Se denominan relaves mineros a los productos de residuos tóxicos de los procesos de la industria minera, compuesta por una mezcla de residuos de minerales, rocas, agua que contienen altas concentraciones de minerales y, en algunos casos, existen bajas cantidades de metales pesados entre la que tenemos el arsénico, plomo, cobre, mercurio, y otros. (Papuico, 2018).

Los relaves llegan a ser sólidos finos que contienen bajas cantidades de mineral valioso y que están mezclados con agua a determinadas densidades de pulpa. Uno de los principales problemas para su tratamiento es la ubicación de las mineras, que generalmente se encuentran en lugares geográficos de difícil acceso. Las sustancias que provienen de plantas de concentración, de lixiviación de metales y la generación de aguas ácidas, generan grandes cantidades de sólidos suspendidos y metales en solución que son los

principales problemas de los relaves. (Rojas, 2007).

Los relaves de las minas se encuentran en dos tipos: activos y pasivos de mina. Los pasivos de mina, se refieren a los relaves de las mineras que dejaron de operar y que causan contaminación ambiental, a las aguas subterráneas y a las aguas superficiales; además de la contaminación que genera en el área de influencia en los suelos, producto del abandono de estas empresas. Los activos mineros se refieren a los relaves que producen las minas que aún se encuentran operando; se estima que, en el Perú, éstas producen alrededor de 25 mil toneladas diarias. (Romero & Flores, 2010)

En el Perú, las actividades mineras no cuentan con planes de disposición adecuada para sus desechos y esto genera que liberen metales a través de los drenajes de desechos ácidos de mina y depósitos de relaves en las cuencas de los ríos. Cuando los desechos tienen contenidos de sulfuros (pirita) y hay presencia de oxígeno, se generan estos drenajes ácidos de mina (DAM) y, dependiendo de los tipos de relaves y las características de los suelos, contendrán grandes cantidades de metales pesados y será necesario controlar y tratar estos desechos, ocasionando una inversión adicional en las operaciones de la industria minera. (Romero, Flores, & Medina, 2008).

Los metales pesados se les conoce a los elementos químicos cuya densidad sea igual o mayor a  $5 \text{ gr/cm}^3$  en estado elemental o cuando tenga como número atómico mayor a 20, se les conoce como metales pesados. (Vardanyan & Ingole, 2006)

Entre los principales metales pesados se consideran al cadmio, níquel, plomo, zinc, cromo, mercurio, cobre, arsénico y plata, como un grupo de mucha importancia debido a que éstas son consideradas básicas para las células; sin embargo, a concentraciones elevadas, resultan ser dañinos para la vida de los humanos, microorganismos del suelo, animales y plantas. (Spain, 2003)

Los metales pesados los encontramos de manera normal en las diferentes capas de la corteza de la tierra; pero, por las actividades de la humanidad como la minería, las investigaciones nucleares, la tecnología en la agricultura, la industria metalúrgica y otros, han causado que estos metales se liberen al ambiente, generando problemas de contaminación al medio ambiente y poniendo en riesgo la salud de las poblaciones.

Tienen una alta tendencia de bioacumulación y biomagnificación, mediante su recorrido en las diferentes cadenas tróficas; en la que el tiempo de permanencia en el suelo resulta ser muy peligroso. La presencia de elevadas concentraciones de metales pesados ocasiona graves problemas al crecimiento y desarrollo de los seres vivos (Roy et al., 2005).

Los metales pesados, por ser elementos que contaminan el suelo, debido a su estática y de gran permanencia, son difícil de degradarse y, por lo tanto, cambian su estado de oxidación y representan cierta movilización dentro de los seres vivos (Vullo, 2003).

El grado tóxico de los metales pesados es perjudicial para las cadenas tróficas, debido a que tienden a bioacumularse en las moléculas de los vegetales y éstas, a la vez, sirven de alimento a los animales y personas, llegando a causar daño severo para la salud (Arenas M. & Hernández C., 2012).

El grado de contaminación por metales pesados está en función del pH, concentración cantidad de arcilla, contenido de material orgánico, del potencial de intercambio de cationes y otras propiedades (Sauve, et al., 2000).

La contaminación por estos metales causa efectos que alteran las propiedades biológicas y físicoquímicas de tal manera que reducen el contenido de materia orgánica, la disminución de nutrientes, alteración del pH, que genera que existan suelos ácidos, altas oscilaciones de temperatura, efectos negativos en la reproducción de microorganismos de la rizosfera que perjudican el desarrollo de vegetales que favorecen a la erosión y aridez del suelo, permitiendo que los contaminantes se dispersen hacia lugares acuíferos adyacentes y por ende, afecta al desarrollo de las plantas debido a que aumenta el ataque de plagas, insectos y enfermedades (Zhang, et al., 2000).

La capacidad de resistencia de las plantas por la presencia de metales se define por la supervivencia de éstas en los suelos contaminados con estos compuestos tóxicos y se muestra por la interacción entre el ambiente y el genotipo que son los que al final determinan la sobrevivencia de las especies (Macnair, 2002).

A pesar de lo antes expuesto, se puede pensar que no existe manera de eliminar este tipo de contaminación mediante la ciencia y que sea duradera; sin embargo, se realizan tecnologías muy laboriosas, costosas e invasivas para la eliminación de contaminantes

presentes en suelos afectados. También se desarrolla tecnología limpia, barata y sorprendentemente eficaz, pues así lo consideran muchos especialistas, a la cual se le denomina fitorremediación, en la que utilizan plantas hiperacumuladoras de metales pesados que tienen gran capacidad de tolerancia y adsorción de estos contaminantes (Jadía & Fulekar, 2009).

El cadmio, metal pesado que lo ubicamos en el grupo II de la Tabla periódica de los elementos químicos. Se encuentra entre los elementos zinc y mercurio por lo que cuentan con características muy similares. Tiene asignado como número atómico el 48. Su ion con más estabilidad es el  $\text{Cd}^{2+}$ ; El  $4d^{10} 5s^2$  es su configuración electrónica terminal. Se le encuentra en la naturaleza en asociación con el zinc, el plomo y el cobre; presenta una gran afinidad con el azufre es por eso que se le encuentra como un compuesto natural como es el sulfuro de cadmio ( $\text{CdS}$ ). Su uso principal es en la producción de pinturas y baterías y en recubrimientos de áreas de metal para evitar que se produzca la oxidación de éstos; también es usado en aleaciones para el uso de soldaduras con bajo punto de fusión y en la industria química para procesos catalíticos.

La concentración de cadmio en los suelos se encuentra en el rango 0.07 y 1.10 ppm y de manera natural tiene una concentración que no supera los 0,5 ppm (Kabata, & Pendías, 1984). Cuando los suelos tienen altas cantidades de cadmio es porque las vetas donde se formaron estaban compuestas por este elemento. La fertilización de los fosfatos es uno de los caminos para la formación de cadmio en los suelos. Las rocas fosfóricas, generalmente tienen alto contenido de metales pesados y se diferencian según su origen y casi siempre superan a los niveles promedio de la que se encuentran en la tierra, estos vienen a conformar la materia prima para los fertilizantes industriales que luego son aplicados a los suelos conjuntamente con el fósforo (Charter M.A., et al., 1993).

Se ha comprobado que para recuperar suelos desérticos se utiliza lodos provenientes de las aguas residuales urbanas por contener grandes cantidades de materia orgánica que son útiles para algunos cultivos (García et al 2000). Cuando estos lodos vienen de efluentes industriales, traen consigo metales pesados entre ellos el cadmio que es uno de los metales que ocasiona mayores riesgos ambientales por su movimiento en los suelos y la disposición para ser absorbidos por los vegetales.

Otras fuentes de contaminación de suelos con cadmio son las que provienen de las

sustancias aéreas que están a manera de polvo y de vapores producto de las explotaciones de las minas, la industria de funciones de metales y fabricas incineración. La volatilización y cenizas de los materiales fósiles que son utilizados en los combustibles contienen metales pesados que luego son depositados en la corteza terrestre llegando a producir una contaminación de la cadena trófica. Las plantas termoeléctricas producen carbón mineral que generan que se contamine las áreas cercanas a ellas y se han determinado que existe mayor nivel de cadmio en los suelos urbanos que se encuentran cerca de vías de alto tránsito automotor.

El cadmio generado por la actividad humana se encuentra generalmente en la superficie y estará más a disposición que el que proviene de la formación natural producto de la meteorización de las rocas, sin embargo, para absorberlos por intervención de las plantas, dependerá de los factores que presente el suelo y los cultivos. La absorción del cadmio utilizando las plantas, depende de los factores y condiciones de los suelos, aquellos que tienen más movilidad facilitan la absorción mientras los que se encuentran inmóviles contribuye a que tenga más permanencia en los suelos. Uno de los factores de la retención del cadmio en los suelos es el pH, a mayor pH la retención de cadmio será mayor. La presencia de carbonatos y la mineralogía de los suelos son factores que determinan la retención de cadmio en los vegetales. Otro factor es la capacidad que tienen los suelos del intercambio catiónico, mientras mayor sea la capacidad de intercambiar cationes, mayor será el potencial para retener el cadmio presente en los suelos. La materia orgánica presenta en muchas ocasiones efectos opuestos sobre el cadmio disponible. La fracción soluble hace que el cadmio se acompleje, facilite su capacidad de movimiento por el suelo y luego se mineralice para hacer que el metal se encuentre mejor disponible para las plantas. Las proporciones de materia orgánica que son resistentes para mineralizarse y con más estabilidad son las que son capaces de retener mejor a los metales pesados como el cadmio, en formas que no tengan disponibilidad hacia los vegetales. La disposición de los metales pesados se basa en la ambivalencia de la materia orgánica y respaldada por dos hipótesis, que resultan de datos experimentales aplicados a suelos agrícolas con lodos residuales. Por un lado, existen investigadores que amparan la hipótesis de que los metales pesados se encuentran en lodos y son capaces de mantener a dos metales por la presencia de la materia orgánica. Al mineralizarlos estos se presentarían con mayor disponibilidad. Al aplicar materiales de mayor complejidad sobre los suelos causan efectos que permiten la

diferenciación de los suelos debido a que se modifican ciertas propiedades como la conductividad eléctrica y el pH. Además de aportar diferentes elementos a éstos. Cuando existen reacciones que producen ácidos o reducen el pH permite que se favorezca la disponibilidad del cadmio y ocurre cuando aplicamos fertilizantes y enmiendas y cuando la materia orgánica es aplicada al inicio de la etapa de descomposición o en ciertos casos en las prácticas de manejo

La adsorción de cadmio que realizan las plantas puede volverse más sencilla con sustancias ácidas que son producidas en la rizosfera. Las secreciones de las raíces, y en especial los ácidos carboxílicos, aumentan la adsorción de cadmio (Nigam et al., 2001). El carácter ácido que presentan las leguminosas favorece la absorción de cadmio y esta acidez se da por el proceso fijador simbiótico de nitrógeno (Iretskaya & Chien, 1999).

Los factores que influyen en la absorción de cadmio en las plantas son: la especie, edad de la especie y el desarrollo de sus raíces, Entre los mejores absorbentes del cadmio se encuentran la espinaca, lechuga y nabo y las que menos absorben están la avena, el trigo y el arroz (Ferguson, 1990).

El cadmio presente en las plantas difiere de acuerdo con las partes de esta. En las raíces se encuentran la mayor cantidad seguido de los tallos y hojas y las menores cantidades lo encontramos en los frutos y semillas, sin embargo, mucho tiene que ver el tipo de especie y su etapa de crecimiento de la planta (Cieslinski et al., 1996).

La biorremediación viene siendo investigada exitosamente de forma variada. Uno de los procedimientos para fitorremediar los suelos es la investigación que se está haciendo a las plantas hiperacumuladoras, por ser estos tipos de vegetales bastantes tolerantes a los metales y con alta capacidad de absorber metales pesados. El proceso de absorción se desarrolla hasta que se garantiza que la planta ha absorbido del suelo una gran cantidad de metal, y luego se comienza a cortarlo y desecharlo después de reducir su volumen. La aplicación de la técnica tiene varias limitaciones para ser aplicado, en algunos casos tiene que ver con su poco tamaño de las plantas hiperacumuladoras, no obstante, también se ha planteado usar especies arbóreas, para lo cual es necesario realizar cosechas cada año con el objeto de evitar el reciclaje del cadmio que se encuentra en las hojas (Robinson et al., 2000)

Para la aplicación de la técnica y aprovechar el poder de absorción de las plantas se

deben crear condiciones favorables para desarrollarse teniendo en muchos casos que aplicar procedimientos agronómicos para mejorar las condiciones del suelo como por ejemplo reducir la salinidad y aumentar la humedad. Para usar técnicas con plantas hiperacumuladoras se tiene que tener bastante cuidado debido a que estas pueden convertirse en un problema, dado que pueden ser una vía para trasladar los metales a la cadena trófica o aumentar la concentración de éstos en horizontes de la superficie (Perronnet et al., 2000).

El cadmio normalmente es difícil de encontrarlo puro en el medio ambiente; pero existe en grandes cantidades a manera de sulfuros, carbonatos, óxidos complejos, plomo, zinc y menas de cobre. Este es de bajo costo, pues se trata de producto que deriva de los procesos de obtención de metales de alto valor como el cobre y el zinc. Sus diferentes aplicaciones en la galvanostegia, galvanización y galvanoplastia, y sus diferentes usos en pinturas, cerámica, pigmentos para elaborar tintes, plásticos, y baterías de cadmio y níquel, se debe a sus propiedades electroquímicas y su alta resistividad a la corrosión. Los metales pesados se consideran de alto riesgo a la salud debido al constante contacto que se tiene en las actividades laborales y ambientales. Los metales más peligrosos y letales se consideran al arsénico, mercurio plomo y cadmio. Una de las principales fuentes a las que la población se expone al cadmio es por el uso de cigarrillos y la comida, el cual por lo general producen efectos crónicos. Los efectos dañinos que provoca el cadmio se dan en los riñones y huesos, además de atacar a las personas con bajas cantidades de hierro. Es de mencionar que el cadmio es uno de los metales con mayores efectos letales a la salud según la agencia de Estados Unidos en la que se registran las sustancias tóxicas que producen enfermedades. Es necesario promover campañas de educación para la salud con la finalidad de disminuir la contaminación producida por la presencia de cadmio.

Una de las plantas utilizadas para fitorremediar el cadmio es la *Brassica juncea*, su nombre científico es *Brassica juncea* (L.) Czern., y también es conocido con el nombre común de mostaza o mostaza parda en varios lugares de nuestra sierra peruana, para diferenciarla de otra especie como es la mostaza blanca o amarilla (*Brassica hirta* Moench) o de la mostaza negra (*Brassica nigra* (L.) W.D.J. Koch); aunque también se le denomina mostaza oriental. La *Brassica juncea* posiblemente es producto de la hibridación de la *Brassica rapa* y *Brassica nigra*. Se distingue de otras especies de *Brassica* por la dimensión de sus pétalos que miden más de 6 mm de largo; tiene solo dos a tres pares de articulaciones en sus hojas basales además de que sus frutos se extienden hacia arriba y

están pegadas al raquis y con un lardo mayor a tres centímetros (Vibrans, 2009).

Es una yerba anual, rapada o algo pubescente; más o menos verdosa, rígida, con algunas ramificaciones, y de longitud que oscila entre 30 a 130 cm. Su tallo es de forma cilíndrica y verdosa, ramificada. Sus hojas inferiores tienen peciolo extendidos, de 10 a 25 cm, lirado-pinnatifidas, irregularmente dentadas, hojas superiores con o sin peciolo lanceoladas y más pequeñas, sus flores son de color amarilla de aproximadamente un diámetro de 1,2 cm, sus semillas son globulares de diámetro de 1,50 mm a 2,00 mm. Su raíz tiene forma napiforme.

Esta especie tiene un comportamiento de ruderal y arvense. Lo encontramos en zonas templadas, tropicales húmedos y tropicales secos; Puede sobrevivir en zonas de una altitud de 500 a 4200 msnm y a temperaturas que oscilan entre 6 y 27 ° C; sin embargo, los cultivos alternativos pueden crecer a temperaturas entre 15 y 18 ° C y los encontramos en suelos con pH de 4.3 a 8.3. Los cultivos alternativos crecen en suelos con ligera acidez y puede ser utilizada como una planta comestible y de uso medicinal (Vibrans, 2009).

En la Provincia de Huaylas existen 25 familias de la especie *Brassicca* y uno de ellos es la *Brassica juncea*, la que se considera como una hierba erguida con tallos angulados y glaucos. Es una especie invasora en áreas donde se altera por actividad humana y suelos húmedos y arcillosos. (Monsalve & Cano, 2003).

En el proyecto de investigación formulamos el siguiente problema: “¿Es posible que la *Brassica juncea*. sea capaz de fitorremediar suelos contaminados con cadmio, en el distrito de Quiruvilca?

Los problemas específicos planteados fueron:

- ¿Es posible determinar la concentración de cadmio presente en suelos contaminados en el distrito de Quiruvilca?
- ¿Serà posible obtener la concentración de cadmio en la planta *Brassica juncea*. después de someterlo a diferentes tratamientos?
- ¿Es factible determinar la capacidad de fitorremediación de cadmio de la planta *Brassica juncea*?

Chao et al., (2023) investigaron en hidroponía, las respuestas morfológicas y fisiológicas de *Brassica juncea* al estrés y el potencial de fitorremediación al Cadmio y Tricloroform. Los resultados mostraron que el Cd exhibió una fuerte inhibición sobre la biomasa y la morfología de las raíces de *B. juncea* a medida que aumentaba la concentración de cadmio. La clorofila *a* intensidad de fluorescencia y contenido de clorofila de *B. juncea*, disminuyó con el aumento de la concentración de Cadmio, mientras que el contenido de malondialdehído y proteínas solubles y la actividad de superóxido dismutasa aumentaron. El tricloroform con diferentes concentraciones no mostró una influencia significativa sobre estas características morfológicas y fisiológicas de *B. juncea*. La biomasa y el estado fisiológico de *B. juncea* estuvieron regulados predominantemente por el nivel de Cadmio bajo la exposición conjunta de Cadmio y tricloroform. La *Brassica juncea* pudo acumular Cadmio en diferentes partes de la planta y mostró un rendimiento eficiente en la degradación de tricloroform. Se observó una eliminación inhibidora mutua de cadmio y tricloroform bajo su ecosistema. El presente estudio significó claramente las respuestas fisiológicas y el potencial de fitorremediación de *Brassica juncea* hacia al cadmio y tricloroform, y estos resultados sugieren que *Brassica juncea* puede usarse como un agente fitorremediador eficaz para la co-contaminación de cadmio y tricloroform en el agua.

Zúñiga López, (2020) En su estudio, propuso un objetivo para fitorremediar los suelos que se encuentran contaminados con el metal pesado cadmio utilizando diferentes concentraciones de especies de *Eichhornia crassipes* del cauce de la parte del río Guaya, con la finalidad de proponer alternativas sostenibles para remediar suelos agrícolas contaminadas con cadmio en su sustrato. Esta especie es una macrófita acuática, en la que se plantó en los suelos contaminados desarrollando bioensayos con concentraciones de 2, 4 y 8 mg/kg de Cd. La especie fue expuesta a las tres concentraciones de cadmio por un periodo de 62 días obteniendo como resultados que la remoción del cadmio fue de 11.75% y 23.63%.

Tokuho, (2019) realizó un trabajo para la extracción de plomo y níquel de los suelos utilizando las especies *Brassica juncea* (L.) Czern (Mostaza), *Helianthus annuus* L. (Girasol) y *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze (Maricá). Para realizar su procedimiento utilizaron dos experimentos por un tiempo de 11 semanas con suelo recolectado dentro de los alrededores de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná. Para su primer experimento usaron 2 kg (masa seca) contaminados con acetato de plomo y sulfato de níquel en concentraciones de 0.5, 1.0, 2.0 y 5.0 g / kg de plomo y níquel para determinar el potencial

fitorremediadora de *Brassica juncea* (L.) Czern y *Helianthus annuus* L. Para el segundo experimento, utilizó 1 kg (masa seca) de suelo contaminado con acetato de plomo en concentraciones de 0.25, 0.5 y 1., 0 g / kg para evaluar el potencial de fitorremediación de la Mimosa bimucronata (DC.) y O. Kuntze. Los tratamientos lo realizaron por triplicado y luego paso por un proceso de digestión; finalmente se realizaron los análisis de las muestras mediante un espectrofotómetro de absorción atómica de llama. Mediante esta investigación se determinó que las especies híper acumuladoras (Girasol y Mostaza) presentan mejores resultados para la Fito extracción con relación al Maricá.

Argota Perez, et al., (2014) realizaron un trabajo en la que utilizaron dos plantas como el Alopecuros magallánicos *bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (*Poaceae*) y lo sometieron a tratamientos con suelos de relave minero con la finalidad de encontrar los coeficientes biológicos de la fitorremediación de plomo y cadmio. Para ello seleccionaron 10 puntos de muestreo en suelos cerca de la minera de Ananea Puno, Perú. Para el trabajo se analizó los metales mediante el método de espectrometría por plasma inductivamente acoplado (ICP). Realizaron una evaluación del potencial de fitorremediación para estos dos metales utilizando dos plantas *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* evaluando tres coeficientes biológicos: coeficiente de absorción biológico, factor de translocación y Factor de remediación de las dos especies. Concluyeron que no existen diferencias en los tres coeficientes biológicos y determinaron que existe bajo potencial de fitorremediación de plomo y cadmio utilizando estas especies.

Papuico, (2020) en su tesis realizó un trabajo de fitorremediación en la que evaluo la cantidad de cadmio que puede acumular la planta *Lupinus mutabilis*. Para su trabajo utilizó estiércol de lombriz en suelos con contenidos de cadmio de la zona del distrito de Huancani. Para su ensayo utilizaron macetas en la que pusieron dos kilogramos de muestra y sembraron el *Lupinus mutabilis* tiempo determinado de 62 días. Utilizó un diseño completamente al azar en la que sus tratamientos usados fueron con dosis de estiércol de lombriz de 0, 5, 10, 15 y 20% (m/m), y con tres repeticiones. Determinó la cantidad de cadmio en la planta y en el suelo. EL resultado del cadmio en la parte superior de la planta fue de 0,375 mg Cd.kg-1 materia seca vegetal, y fue menor conforme se aumentaba la dosis de estiércol. Obtuvo un factor de Bioconcentración menor a 1 y sin diferencias significativas por lo que en su trabajo de investigación concluyo que la planta *Lupinus mutabilis* no es Fito extractora pero se le puede considerar como una especie Fito estabilizadora.

Según Arenas M. & Hernández C., (2012) en el desarrollo de su investigación, evaluó el grado de toxicidad del cadmio y mercurio, utilizando la planta herbácea *Brassica nigra* (mostaza negra o ajenable); determinando los efectos que se ocasionan en su germinación, crecimiento y la raíz. En su evaluación logró establecer que ésta planta tiene alta capacidad de acumular los metales como el mercurio y cadmio; lo que conllevó a la conclusión de que la fitorremediación es una elección eficiente y muy económica para la disminución de los contaminantes de los suelos, por la presencia de los metales pesados.

Khatal et al., (2016), Desarrollaron una investigación de fitoextracción de plomo y níquel utilizando la *Brassica juncea* L. En su estudio procedieron a recolectar muestras de suelos contaminados y plantas híper acumuladoras con el objetivo de remediar plomo y níquel. De su estudio llegaron a la conclusión que la *Brassica juncea* absorbe de manera eficiente metales como plomo y níquel, además determinaron la utilidad de *Brassica juncea* para explorarlo en la rotación de cultivos alimentarios para controlar la biomagnificación de metales que resultan ser dañinos en la cadena alimentaria.

Apacila P & Pezo L, (2015) en su trabajo de investigación, evaluó la existencia de metales contenidos en las hojas, raíz y corteza de la *Maytenus macrocarpa* (chuchuhuasi). Las muestras de estudio fueron recolectadas de plantas que se encuentran a los costados de la carretera Iquitos-Nauta. Cabe mencionar que, para el análisis de los metales pesados, empleó el método de Absorción Atómica. Los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales hallados en este vegetal, fueron de 0,132 ppm de cadmio, 0,398 ppm de plomo, 38,150 ppm de hierro, 3,350 ppm de manganeso, 4,790 ppm de cobre, 13,300 ppm de zinc y 4,583 ppm de cromo.

Díaz Dávila, (2017), realizó su trabajo de tesis para encontrar la capacidad fitorremediadora del plomo en suelos contaminados utilizando la planta *Urticaca urens* (ortiga) en la región Junín. Realizó una evaluación de la eficiencia para retener plomo utilizando *Urtica urens* (ortiga menor) para la fitorremediación de los suelos con contenido de plomo, en la provincia de La Oroya. Los resultados encontrados fue que las hojas retuvieron 84,34mg/kg, y las raíces 25,06 mg/kg, con lo que concluyeron que la planta reduce la concentración de plomo en el suelo en una cantidad de 109,46 mg/kg; demostrando la eficiencia del método utilizado.

Según Peña Rivera & Beltran Lázaro, (2017), realizaron un trabajo de investigación utilizando la planta *Helianthus annuus L.*, para evaluar la fitorremediación de suelos con contenido de metales pesados. Aplicaron el método de fitorremediación como técnica para eliminar metales pesados. Después de realizar los experimentos de fitoextracción sus resultados obtenidos fue que encontraron concentraciones de metales pesados en las semillas, raíces, tallos, hojas, y flores de éste vegetal llamado *Helianthus annuus L.* los metales pesados encontrados en la planta fueron: en las raíces Sb, As, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb y Zn en la raíz; Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, y Zn en las hojas; Cu, Fe, Mn, Pb, y Zn en los tallos; Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, y Zn en la flor; en la semilla solamente se encontró una pequeña concentración de Cd.

Según Papuico H., (2018) en su investigación determinaron que la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) captura metales pesados en sus partes cosechables y los elimina del medio ambiente por lo que es considerado como una planta Fito extractora. Este proceso también se conoce como Fito acumulación debido a la capacidad de captar metales contaminantes en las raíces, tallos y hojas de la planta la misma que fue corroborado con el estudio realizado.

Ancalla Tuero & Cochachin Tineo, (2020) Desarrollaron su trabajo de investigación utilizando la *Brassica juncea* y biosurfactantes como la lectina de soja y goma guar) con la finalidad de disminuir la contaminación de suelos con plomo a los alrededores de la procesadora Minex en el Distrito de Vista Alegre, Provincia de Nazca. En su trabajo de investigación realizaron cuatro tratamientos: primero solo *Brassica juncea*, segundo adicionando lectina de soja, tercero se agregó goma guar y el cuarto se trabajó adicionando ambos biosurfactes, y realizaron el tratamiento a 40 plantas. Los porcentajes de absorción de la planta fueron de 49.3% en el Tratamiento 1, 50.9% en tratamiento 2, 50.2% en tratamiento 3 y 67.2% en tratamiento 4, Concluyeron que el mejor resultado para la absorción fue el que generó tratamiento 4 y concluyen que la *Brassica juncea* es una opción que es factible para realizar investigaciones para remediar suelos contaminados

Delgadillo L., et al., (2011) realizaron su investigación sobre la Fitorremediación para eliminar la contaminación concluyendo que en la actualidad para poder resolver los problemas de contaminación se necesita de nuevas tecnologías de bajo costo y que sean efectivas y que no causen daño a los ecosistemas y puedan ser aplicados a escalas mayores.

La ventaja que tiene las plantas es la capacidad para la adsorción, absorción, metabolismo, acumulación, estabilización, o volatilización de compuestos orgánicos e inorgánicos para la remediación de contaminantes. Para ello es necesario tener información referente a las interacciones de las plantas con los microorganismos, que actúan como metabolitos de los metales pesados en la parte interna de los vegetales y también tener conocimiento de cómo actúan las enzimas en la fitorremediación. Teniendo más conocimiento de estas tecnologías será posible aplicarlos de manera eficiente en procesos de gran escala.

En la actualidad existe poca información respecto a métodos para descontaminar suelos infectados con metales pesados como el cadmio a consecuencia de la contaminación ocasionada por las actividades mineras de la zona del distrito de Quiruvilca, además de conocer el alto poder contaminante de los metales pesados y las graves consecuencias que generan en la salud de las personas, por ello se busca investigar metodologías y procedimientos que nos conlleven a disminuir el grado de contaminación por metales pesados como el cadmio.

Las investigaciones nos demuestran que la fitorremediación es una de las alternativas para solucionar los álgidos problemas de contaminación por la disposición de metales pesados, derivados de los relaves de la industria minera; además, es un proceso muy eficiente y económico. Asimismo, existen vegetales que se localizan de forma natural en las zonas alto andinas, que son capaces de absorber metales pesados. La *Brassica juncea*. es un ejemplo de ello y se encuentra en forma silvestre en el distrito de Quiruvilca. Se sabe que esta planta es capaz de estabilizar, extraer y volatilizar ciertos metales pesados como el cadmio.

Por lo antes expuesto, con el desarrollo del trabajo de investigación se busca contribuir con conocimientos que nos permitan aplicar procedimientos de fitorremediación, con el fin de reducir los parámetros de contaminación por la presencia de metales pesados en la zona del distrito de Quiruvilca, hasta obtener las concentraciones de metales pesados menores a los establecidos en los límites máximos permitidos para los suelos y, por ende, lograr que se cumpla con las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Objetivos de la Investigación

Objetivo general

- ✓ Evaluar la capacidad de fitorremediación de cadmio utilizando *Brassica juncea*. en el distrito de Quiruvilca.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la concentración de cadmio presente en la relavera San Felipe, distrito de Quiruvilca.
- ✓ Determinar la concentración de cadmio en las raíces y tallos de planta *Brassica juncea*.
- ✓ Establecer la capacidad de fitorremediación de cadmio de la planta *Brassica juncea* en raíces y tallos.

### 2.2. Diseño de Investigación

Se desarrolló un diseño experimental donde se evaluaron dos tratamientos, uno con 100% de suelo agrícola y el otro con 25% de relave y 75 % de suelo agrícola. Se realizaron nueve réplicas por cada tratamiento y se evaluó la cantidad de cadmio en la raíz y el tallo de la planta. En la **Tabla 1** se muestran los tratamientos evaluados con sus nueve repeticiones.

**Tabla 1**  
*Diseño Experimental*

% de suelo agrícola		Concentración de Cadmio en <i>Brassica juncea</i>								
Tipo	%	Repeticiones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Raíz	75	T3R1	T3R5	T3R3	T3R4	T3R5	T3R6	T3R7	T3R8	T3R9
Tallo	75	T3T1	T3T2	T3T3	T3T4	T3T5	T3T6	T3T7	T3T8	T3T9
Raíz	100	T5R1	T5R5	T5R3	T5R4	T5R5	T5R6	T5R7	T5R8	T5R9
Tallo	100	T5T1	T5T2	T5T3	T5T4	T5T5	T5T6	T5T7	T5T8	T5T9

*Nota:* Se muestran los tratamientos evaluados.

- ✓ El Tratamiento 3 está compuesto por 0.75 gramos de suelo agrícola y 0,25 gramos de relave minero.
- ✓ El Tratamiento 5 está compuesto por 1.00 Kg de suelo agrícola y 0.00 de relave minero

Las plantas estuvieron, en un inicio, en los almácigos por aproximadamente un mes y luego, se trasplantarán a las macetas preparadas con el sustrato, de acuerdo a los tratamientos diseñados para el trabajo de investigación. Después de 60 días de haber sido trasplantadas, se procedo a evaluar los parámetros materia de la investigación. Se regaron con agua potable.

### **Variables categorías e indicadores**

- ✓ Variable Independiente:
  - Concentración de cadmio en los suelos con contaminación del sector de Quiruvilca y los indicadores fueron la concentración del cadmio medido en mg/Kg. Se analizó la concentración de cadmio en cada sustrato preparado de acuerdo a los tratamientos propuestos en el trabajo de investigación
- ✓ Variable Dependiente:
  - Concentración de cadmio en la planta *Brassica juncea*. expresado en (ppm).
  - Capacidad de fitorremediación de metales pesados (Cd).

### **2.3. Población y Muestra.**

La población de nuestro trabajo de investigación fueron los suelos que se consideran agrícolas por su composición y utilidad y, que además están dentro del área de influencia de fuentes de contaminación por relaves mineros que contienen metales pesados como el cadmio en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad; Además se recolectó muestras de relave minero, tomada del Distrito de Quiruvilca en la que se distribuyeron en los diferentes tratamientos con un

contenido total de muestra de 1 Kg y donde se trasplantaron las plantas de la especie *Brassica juncea*, que previamente se sembraron en almácigos con suelos agrícolas del distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco.

**Tabla 2**

*Tratamientos evaluados*

Tratamientos	Suelo Agrícola – Relave minero	Repeticiones
T1	25% -75%	9
T2	50%-50%	9
T3	75% - 25%	9
T4	0% - 100%	9
T5 (Testigo)	100% - 0%	9

*Nota:* Proporciones basados en 1 Kg

En la **Tabla 2** mostramos los tratamientos evaluados en las cuales a la planta de *Brassica juncea*. se le determinó la cantidad de cadmio que contenía en la raíz y tallo de cada planta. Cabe mencionar que en los tratamientos T1, T2 y T4 las especies de *Brassica juncea* no progresaron y se realizó la evaluación con los tratamientos T3 y T5.

#### **2.4. Técnicas e Instrumentos de recojo de datos**

La técnica utilizada para recoger datos fue la observación experimental, debido a que se trata de un proceso en el que el objetivo principal es adquirir información respecto al objetode estudio. Los investigadores interpretaron lo observado, teniendo como base referencial la parte teórica y los resultados que se obtuvieron. También utilizamos la técnica de evaluación que nos permite obtener datos antes y después del test, como resultados de la aplicación de los tratamientos del suelo contaminado en los diferentes procesos de estudio.

Los instrumentos que utilizamos fueron las fichas de registro, donde se anotaron los datos que se obtuvieron de los diferentes ensayos, así como las condiciones del proceso de investigación. Se tomaron datos de las concentraciones del metal pesado

objeto de estudio, al inicio y final del proceso, para luego hacer una comparación de los resultados obtenidos.

## **2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

### **2.5.1. Recolección del relave minero.**

Los relaves mineros se obtuvieron de distintos lugares que se encuentren en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, con coordenadas 8°17'58" S y 78°22'29" W a 3728 m.s.n.m.; estos fueron utilizados para la preparación de los tratamientos según nuestro diseño de investigación.

### **2.5.2. Recolección del suelo.**

Se seleccionaron cinco puntos de suelos agrícolas provenientes de la zona del distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, adecuados para la siembra.

### **2.5.3. Determinación de la concentración de cadmio del relave minero**

Para obtener la cantidad de cadmio existente en el distrito de Quiruvilca, se utilizó equipos de espectrometría de absorción atómica. El laboratorio responsable del análisis de cadmio fue FQA PERU SAC.

### **2.5.4. Recolección de las muestras de *Brassica juncea***

Para recolectar las muestras se sembraron en almácigos, semillas de la especie *Brassica juncea*, las mismas que estuvieron aproximadamente un mes hasta alcanzar una altura adecuada para ser trasplantadas en los sustratos preparados para el trabajo de investigación.

### **2.5.5. Preparación de los sustratos**

Para la preparación de los sustratos se tuvo en cuenta la unidad experimental, que fueron bolsas de almacigo de aproximadamente 3 Kg de capacidad, en la que se procedió a agregar la cantidad de relave y cantidad de suelo, según los tratamientos propuestos en nuestro diseño de investigación.

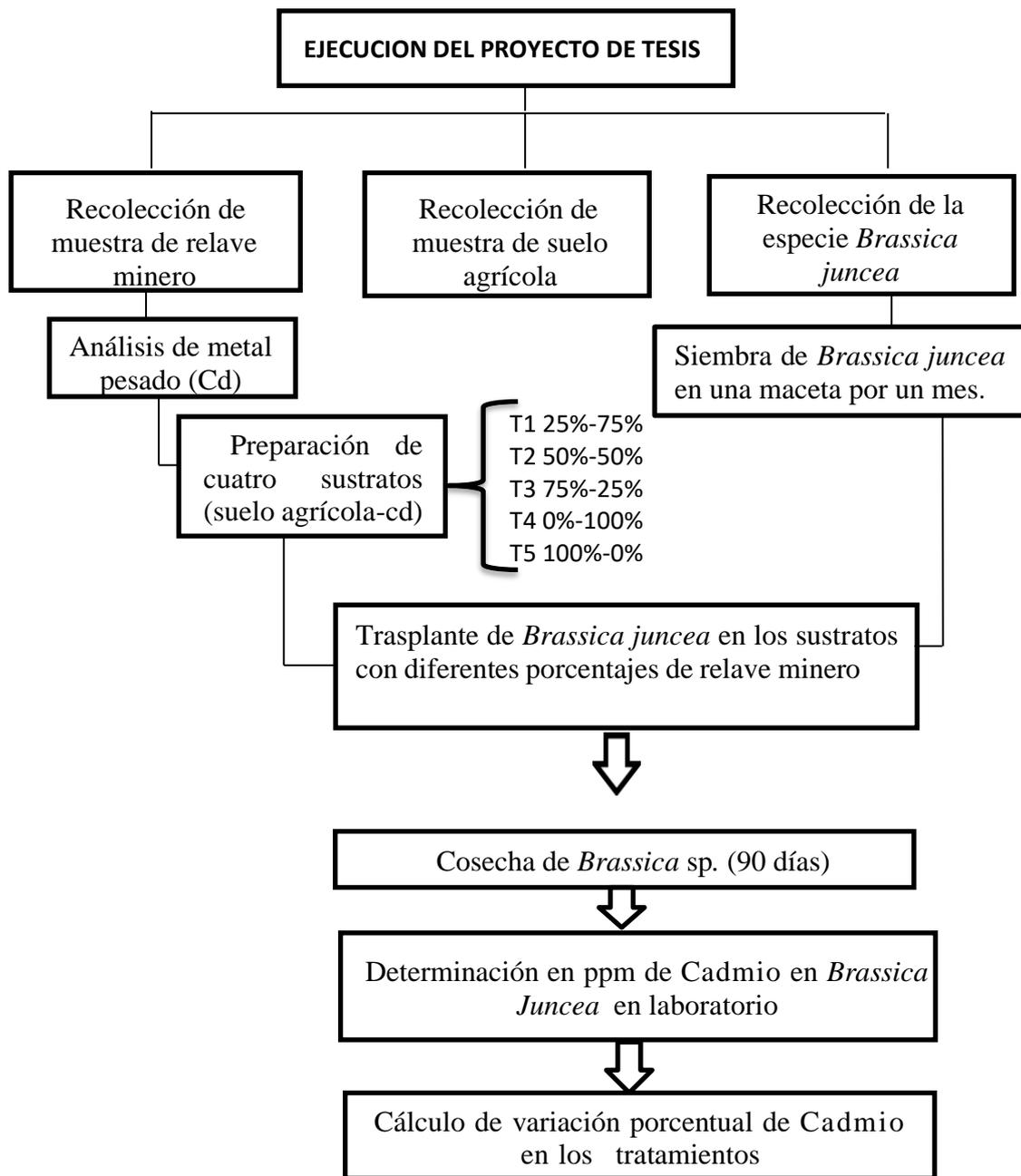
### **2.5.6. Determinaciones analíticas**

Se determinaron las concentraciones del metal pesado cadmio en los sustratos con relave minero antes del trasplante de la planta y, también se determinaron las concentraciones del metal pesado cadmio después de haber sido sometidos a los tratamientos.

Para determinar las concentraciones de cadmio en la raíz y tallo de la planta, primeramente, se secaron en una estufa a 60°C durante 6 horas hasta tener un peso constante.

Luego las plantas fueron molidas y tamizadas hasta un tamaño de Partículas homogéneas; seguidamente pasaron por un proceso de digestión en la que se agregó ácido nítrico concentrado, para luego determinar la concentración del cadmio utilizando el método de absorción atómica en el laboratorio de FQA PERU SAC.

### 2.5.7. Diagrama metodológico del proceso



## **2.6. Análisis de la Información**

Los resultados de los análisis se evaluaron realizando gráficos realizados mediante el software Excel además de realizar una validación de los resultados con un análisis estadístico utilizando el programa STHATGRAPHICS.

## **2.7. Aspectos éticos de la investigación**

Los autores del desarrollo del trabajo de investigación declaran la autenticidad de los resultados obtenidos, sin tener alteración alguna sobre ellos y se sujetan a las normas de ética de investigación de la Universidad Católica de Trujillo, así como a las normas éticas del mundo científico.

### III. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se evaluaron en base a cuatro tratamientos y un testigo que lo denominamos tratamiento T5. En el desarrollo de los experimentos, en los tratamientos T1 y T2 se murieron después de un mes y el tratamiento T4 se murieron después de una semana quedando vivas las de los tratamientos T3 y T5. En cada tratamiento se sembraron 18 muestras.

Se saco análisis de 9 muestras de los tratamientos T3 y T5 y evaluamos estos resultados las mismas que detallamos en la descripción del presente capítulo de nuestro trabajo de investigación

#### 3.1. Determinación de cadmio en la Relavera San Felipe en el distrito de Quiruvilca.

Se recolectó muestras de cuatro puntos de la relavera San Felipe y muestra de suelo agrícola del área de influencia de la relavera ubicado en el distrito de Quiruvilca las mismas que fueron llevadas al laboratorio y las concentraciones de cadmio obtenidas se muestran en la **Tabla 3**

**Tabla 3**

*Concentración de cadmio de 4 puntos de la relavera San Felipe y del suelo agrícola.*

Descripción	Cadmio (cd)	Unidades
PUNTO 01	6.2033	mg/kg
PUNTO 02	4.9875	mg/kg
PUNTO 03	6.9967	mg/kg
PUNTO 04	5.8816	mg/kg
SUELO	1.3863	mg/Kg

En un inicio se prepararon cuatro tratamientos más el tratamiento testigo y de acuerdo con los resultados iniciales obtenidos de la concentración de cadmio de cada punto se proyectó la concentración de las mezclas de los tratamientos.

- ✓ El tratamiento T1 se preparó con muestra del punto 1 y suelo (25 % suelo agrícola y 75% de relave minero) y contiene 4.99905 mg Cd/Kg de suelo.

- ✓ El tratamiento T2 se preparó con muestra del punto 2 y suelo (50 % suelo agrícola y 50 % de relave minero) y contiene 3.1869 mg Cd/Kg de suelo.
- ✓ El tratamiento T3 se preparó con muestra del punto 3 y suelo (75 % suelo agrícola y 25 % de relave minero) y contiene 2.7889 mg Cd/Kg de suelo.
- ✓ El tratamiento T4 se preparó con muestra del punto 4 (100 % de relave minero) y contiene 5.8816 mg Cd/Kg de suelo.
- ✓ El tratamiento T5 se preparó con muestra del suelo (100 % de suelo agrícola) y contiene 1.3863 mg Cd/Kg de suelo.

Para nuestro trabajo de investigación se evaluó el tratamiento T3 donde se mezcló 75 % de suelo agrícola con 25 % de relave minero y el tratamiento T5 que contenía 100 % de suelo agrícola.

En los tratamientos T1, T2, las plantas de *Brassica juncea*. murieron en su totalidad, al término de un mes las plantas iban secándose hasta morirse completamente.

En la T4 100% relave minero las plantas se murieron al término de una semana.

### **3.2. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en las raíces de la planta de *Brassica juncea*.**

Para evaluar la capacidad fitorremediadora del cadmio en las raíces se determinó la concentración del metal después del tratamiento y se determinó el porcentaje de fitorremediación de la planta *Brassica juncea*. utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Capacidad de fitorremediación raíz (\%)} = \left( \frac{\text{Cfr}}{\text{Ci}} \right) * 100$$

Donde:

Cfr: Concentración final en la raíz de la planta *Brassica juncea*.

Ci: Concentración inicial de la muestra.

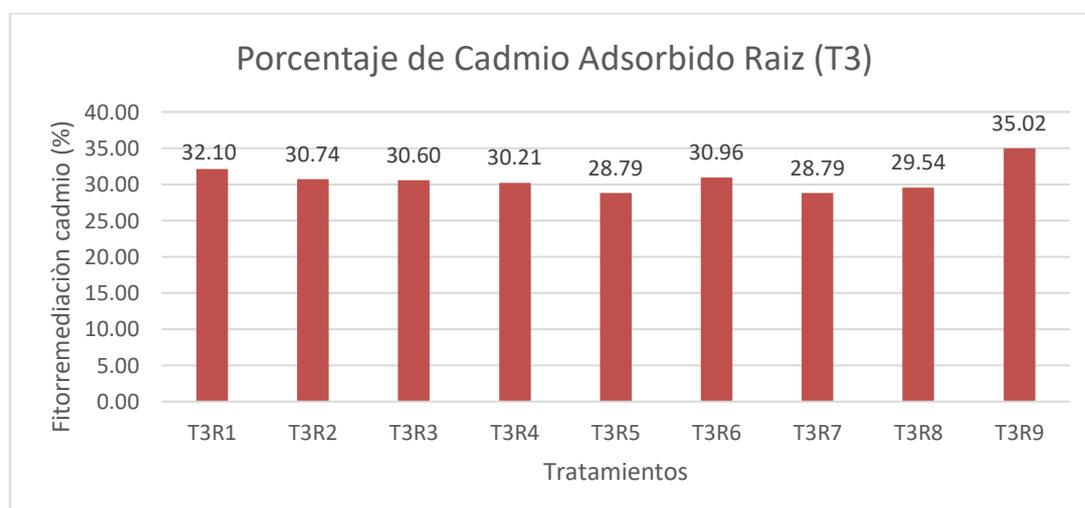
### Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea*. en el tratamiento 3

Para evaluar la capacidad fitorremediadora de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea*. en el tratamiento 3 (75% suelo agrícola - 25 % relave minero) elaboramos la **Tabla 4** y **Figura 1**.

**Tabla 4**  
*Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 3*

Codificación de Muestra (Raíz)	Concentración cadmio (mg/Kg)	Cadmio adsorbido Raíz (%)
T3R1	0.8954	32.10
T3R2	0.8569	30.74
T3R3	0.8532	30.60
T3R4	0.8423	30.21
T3R5	0.8025	28.79
T3R6	0.8632	30.96
T3R7	0.8025	28.79
T3R8	0.8236	29.54
T3R9	0.9762	35.02

**Figura 1:**  
*Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 3*



Según lo mostrado en la Tabla 4 y la Figura 1 se pudo determinar que en el tratamiento 3 (75 % de suelo agrícola y 25 % de relave minero) las raíces lograron concentrar en promedio 0.8573 mg/Kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en la raíz de la planta *Brassica juncea* de 30.759 % y que el máximo porcentaje de fitorremediación lo encontramos en el tratamiento T3R9 equivalente a un 35.02 % y el menor porcentaje lo encontramos en el tratamiento T3R5 y T3R7 equivalente a 28.79 %.

#### **Evaluación de la remoción de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea* en el tratamiento 5**

Para la evaluación de la remoción de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea* en el tratamiento 5 (100 % suelo agrícola -0 % relave minero) presentamos la **Tabla 5 y Figura 2**.

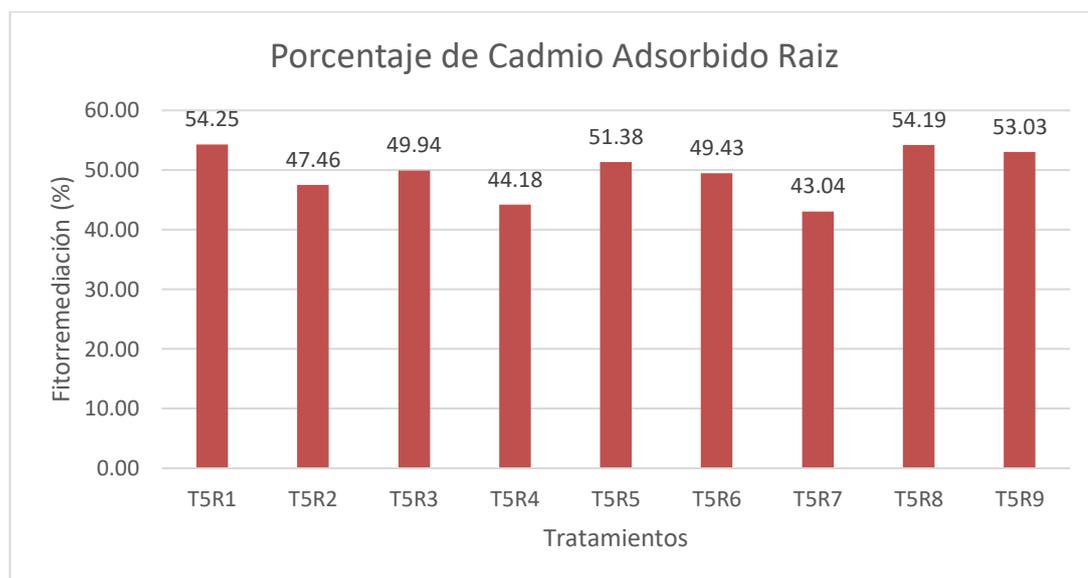
**Tabla 5**  
*Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 5*

<b>Codificación de Muestra</b>	<b>Concentración cadmio</b>	<b>Cadmio adsorbido</b>
<b>(Raíz)</b>	<b>(mg/Kg)</b>	<b>Raíz (%)</b>
T5R1	0.7520	54.25
T5R2	0.6580	47.46
T5R3	0.6923	49.94
T5R4	0.6125	44.18
T5R5	0.7123	51.38
T5R6	0.6852	49.43
T5R7	0.5967	43.04
T5R8	0.7512	54.19
T5R9	0.7351	53.03

Nota: Datos tomados de los resultados mostrados en los anexos.

**Figura 2:**

*Fitorremediación de cadmio en las raíces del Tratamiento 5*



Según lo mostrado en la Tabla 5 y la Figura 2 se pudo determinar que en el tratamiento 5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero) las raíces lograron concentrar en promedio 0.6884 mg/kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en la raíz de 49.65 % y que el máximo porcentaje de fitorremediación lo encontramos en el tratamiento T5R1 equivalente a un 54.25 % y el menor porcentaje lo encontramos en el tratamiento T5R7 equivalente a 43.04 %.

### **3.3. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en el tallo de la planta de *Brassica juncea*.**

Para evaluar la capacidad fitorremediadora de cadmio en los tallos se determinó la concentración del metal después del tratamiento y se calculó el porcentaje de fitorremediación de la planta *Brassica juncea*. Mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Capacidad de fitorremediación raíz (\%)} = \left( \frac{C_{ft}}{C_i} \right) * 100$$

Donde:

C<sub>ft</sub>: Concentración final en el tallo de la planta *Brassica juncea*.

C<sub>i</sub>: Concentración inicial de la muestra.

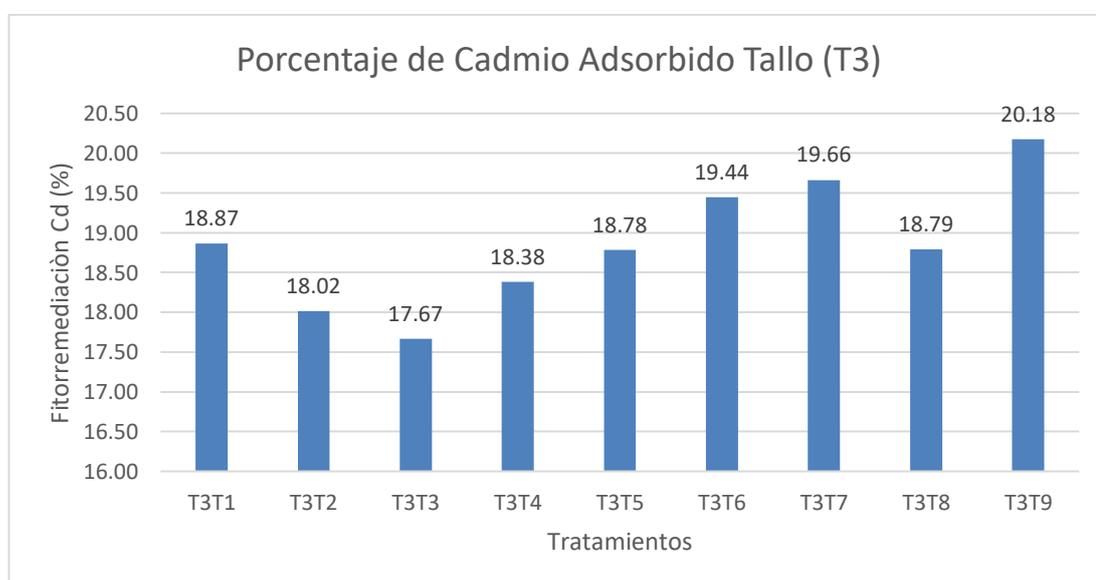
### Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea*. en el tratamiento 3

Para evaluar la capacidad fitorremediadora de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea*. en el tratamiento 3 (75% suelo agrícola -25 % relave minero) elaboramos la **Tabla 6** y **Figura 3**

**Tabla 6**  
*Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 3*

Codificación de Muestra (Tallo)	Concentración cadmio (mg/Kg)	Cadmio adsorbido Tallo (%)
T3T1	0.526	18.87
T3T2	0.5023	18.02
T3T3	0.4925	17.67
T3T4	0.5124	18.38
T3T5	0.5236	18.78
T3T6	0.5421	19.44
T3T7	0.5482	19.66
T3T8	0.5238	18.79
T3T9	0.5625	20.18

**Figura 3:**  
*Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 3*



Según lo mostrado en la Tabla 6 y la Figura se pudo determinar que en el tratamiento 3 (75 % de suelo agrícola y 25 % de relave minero) los tallos lograron concentrar en promedio 0.5259 mg/kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en el tallo de 18.86 % y que el máximo porcentaje de fitorremediación lo encontramos en el tratamiento T3T9 equivalente a un 20.18 % y el menor porcentaje lo encontramos en el tratamiento T3T3 equivalente a 17.67 %.

**Evaluación de la fitorremediación de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea*. en el tratamiento 5**

Para la evaluación de la fitorremediación de cadmio en los tallos de la planta *Brassica sp.* en el tratamiento 5 (100 % suelo agrícola -0 % relave minero) presentamos la **Tabla 7** y **Figura 4**.

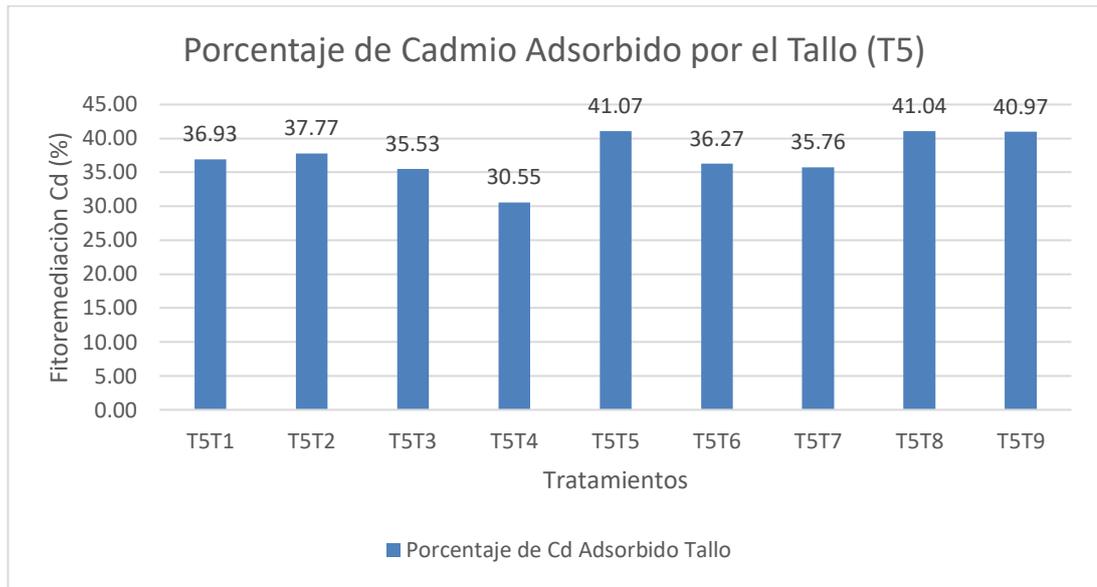
**Tabla 7**

*Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 5*

<b>Codificación de Muestra</b>	<b>Concentración cadmio</b>	<b>Cadmio adsorbido</b>
<b>(Tallo)</b>	<b>(mg/Kg)</b>	<b>Tallo (%)</b>
T5T1	0.5120	36.93
T5T2	0.5236	37.77
T5T3	0.4925	35.53
T5T4	0.4235	30.55
T5T5	0.5694	41.07
T5T6	0.5028	36.27
T5T7	0.4958	35.76
T5T8	0.5690	41.04
T5T9	0.5680	40.97

**Figura 4:**

*Fitorremediación de cadmio en los tallos del Tratamiento 5.*



Según lo mostrado en la Tabla 7 y la Figura 4 se pudo determinar que en el tratamiento 5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero) los tallos lograron concentrar en promedio 0.5174 mg/kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en el tallo de 37.32 % y que el máximo porcentaje de fitorremediación lo encontramos en el tratamiento T5T5 equivalente a un 41.07 % y el menor porcentaje lo encontramos en el tratamiento T5T4 equivalente a 30.55 %.

### **3.4. Evaluación de la capacidad de fitorremediación de cadmio de la planta *Brassica juncea*.**

Para evaluar la capacidad de fitorremediación de cadmio de la planta *Brassica juncea* se sumó la fitorremediación hecha por la raíz con la fitorremediación hecha por el tallo en los dos tratamientos (T3 y T5)

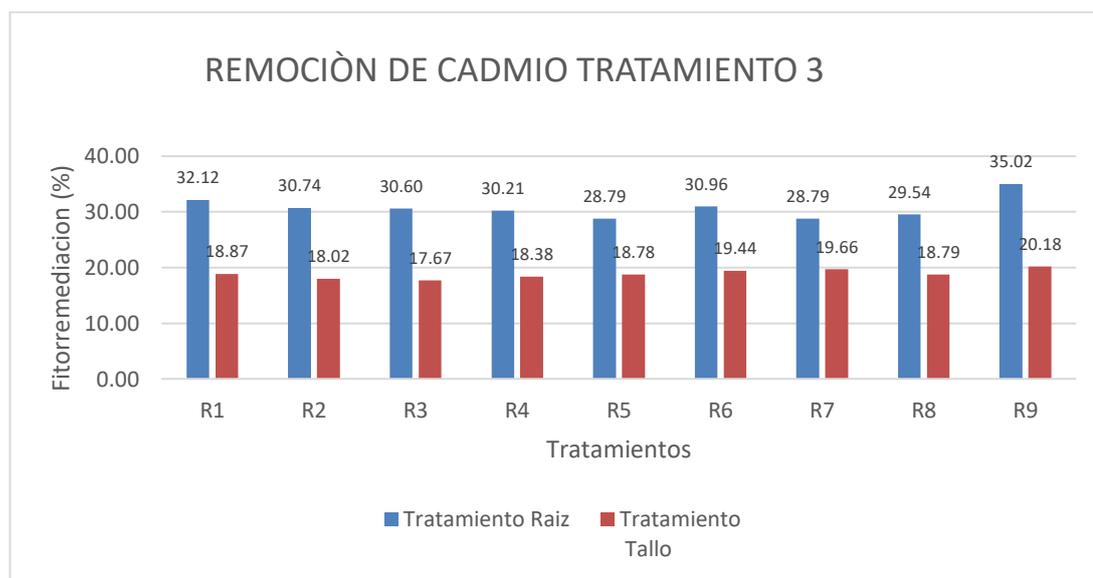
#### **Tratamiento T3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero)**

Para este tratamiento se elaboraron la **Tabla 8** y **Figura 5** que nos permiten realizar una evaluación de la cantidad y porcentaje de fitorremediación de cadmio utilizando la planta *Brassica juncea*. cuando se utiliza 75 % de suelo agrícola y el resto de relave minero.

**Tabla 8**  
*Fitorremediación de Brassica juncea en Tratamiento 3*

Tratamiento Raíz	Cadmio en Raíz (mg/Kg)	Remoción Cadmio en Raíz (%)	Tratamiento Tallo	Cadmio en Tallo (mg/Kg)	Remoción Cadmio en Tallo (%)	Remoción Brassica sp. (%)
T3R1	0.8954	32.12	T3T1	0.5260	18.87	50.98
T3R2	0.8569	30.74	T3T2	0.5023	18.02	48.75
T3R3	0.8532	30.60	T3T3	0.4925	17.67	48.27
T3R4	0.8423	30.21	T3T4	0.5124	18.38	48.59
T3R5	0.8025	28.79	T3T5	0.5236	18.78	47.57
T3R6	0.8632	30.96	T3T6	0.5421	19.44	50.41
T3R7	0.8025	28.79	T3T7	0.5482	19.66	48.45
T3R8	0.8236	29.54	T3T8	0.5238	18.79	48.33
T3R9	0.9762	35.02	T3T9	0.5625	20.18	55.19

**Figura 5**  
*Fitorremediación de Brassica sp en Tratamiento 3*



Según lo mostrado en la Tabla 8 y la Figura 5 cuando realizamos el tratamiento 3 podemos determinar que la raíz tiene una mejor capacidad de fitorremediación que el tallo en las 9 repeticiones tal es así que existe un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en la planta *Brassica juncea* de 49.62 %. El mayor porcentaje de fitorremediación lo encontramos en la repetición 9 equivalente a 55.19%

y el menor porcentaje lo encontramos en la repetición 5 equivalente a 47.57 %. Estos porcentajes los obtenemos de la suma de capacidad de fitorremediación de la raíz más el del tallo.

#### **Tratamiento T5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero)**

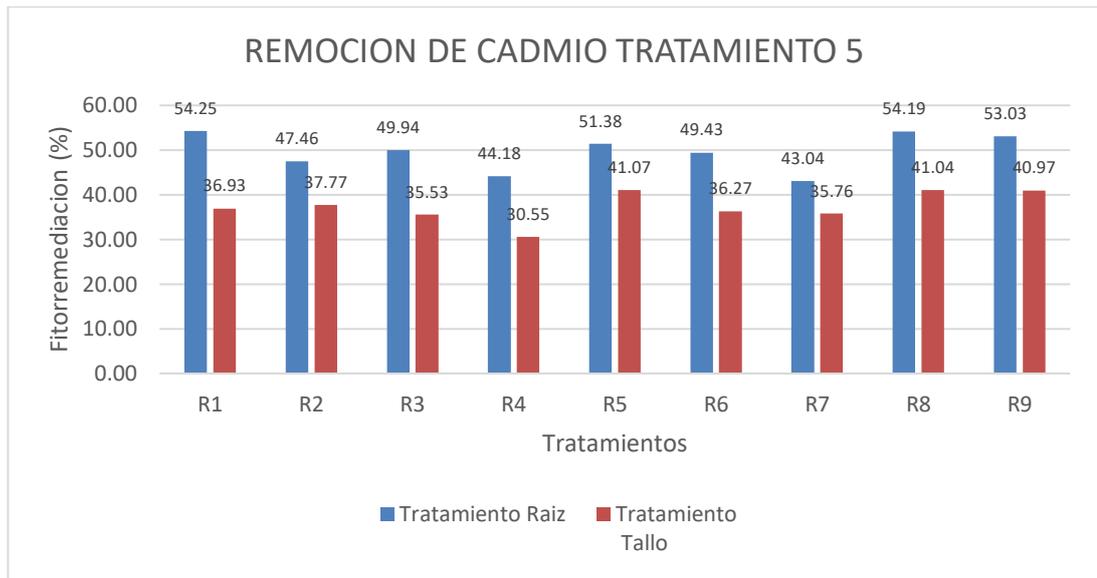
Para este tratamiento se elaboraron la **Tabla 9** y **Figura 6** que nos permiten realizar

una evaluación de la cantidad y porcentaje de remoción de cadmio utilizando la planta *Brassica juncea* cuando se utiliza 100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero.

**Tabla 9**  
*Fitorremediación de Brassica juncea en Tratamiento 5*

Tratamiento Raíz	Cadmio en Raíz (mg/Kg)	Remoción Cadmio en Raíz (%)	Tratamiento Tallo	Cadmio en Tallo (mg/Kg)	Remoción Cadmio en Tallo (%)	Remoción <i>Brassica</i> sp.
T5R1	0.752	54.25	T5T1	0.5120	36.93	91.18
T5R2	0.658	47.46	T5T2	0.5236	37.77	85.23
T5R3	0.6923	49.94	T5T3	0.4925	35.53	85.46
T5R4	0.6125	44.18	T5T4	0.4235	30.55	74.73
T5R5	0.7123	51.38	T5T5	0.5694	41.07	92.45
T5R6	0.6852	49.43	T5T6	0.5028	36.27	85.70
T5R7	0.5967	43.04	T5T7	0.4958	35.76	78.81
T5R8	0.7512	54.19	T5T8	0.5690	41.04	95.23
T5R9	0.7351	53.03	T5T9	0.5680	40.97	94.00

**Figura 6:**  
**Fitorremediación de *Brassica juncea* en Tratamiento 5**



Según lo mostrado en la Tabla 9 y la Figura 6 cuando realizamos el tratamiento 5 podemos determinar que la raíz tiene una mejor capacidad de fitorremediación que el tallo en las 9 repeticiones Tal es así que existe un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en la planta *Brassica juncea* de 86.98 %.. El mayor porcentaje de fitorremediación lo encontramos en la repetición 8 equivalente a 95.23 % y el menor porcentaje lo encontramos en la repetición 4 equivalente a 74.73 %. Estos porcentajes los obtenemos de la suma de capacidad de fitorremediación de la raíz más la capacidad de fitorremediación del tallo.

### 3.5. Validación de la hipótesis.

Ho: *La Brassica juncea* no es fitorremediadora con metales pesados como el cadmio.

H1: *La Brassica juncea* es fitorremediadora con metales pesados como el cadmio.

### Pruebas de Normalidad para la fitorremediación de la raíz.

Para determinar la normalidad de los datos que se obtuvieron respecto a la fitorremediación de la raíz de la planta *Brassica juncea* después de los tratamientos aplicamos la prueba de Chapiro Wilk. Para esta prueba se tiene en cuenta los siguientes criterios:

$Valor-P \geq 0,05$ : significa que aceptamos la hipótesis nula y que datos proceden de una distribución normal.

$Valor-P < 0,05$ : significa que aceptamos la hipótesis alterna y los datos no proceden de una distribución normal.

**Tabla 10**

*Prueba de Shapiro-Wilk para fitorremediación de la Raíz*

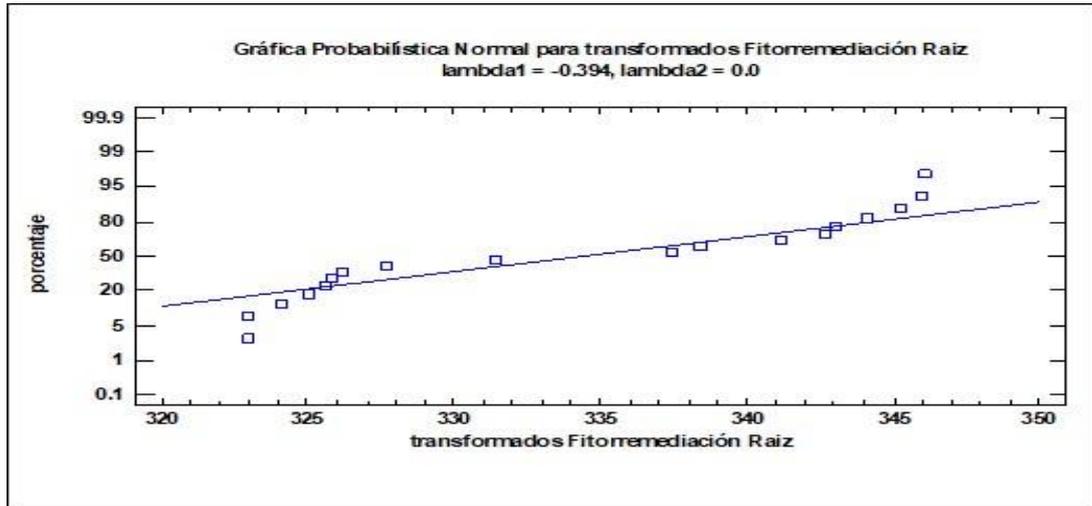
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.84706	0.00662732

**Fuente:** *Statgraphics Centurión.*

Teniendo en cuenta la **Tabla 10** podemos observar que el menor valor P obtenido de los ensayos que se realizaron es menor a 0.05 es posible desechar la idea de que los datos obtenidos para la Fitorremediación de la Raíz provienen de una distribución normal trabajando con un 95% de confianza por lo tanto aceptamos nuestra hipótesis alterna.

**Figura 7**

Grafica de la Normalidad para la Fitorremediación de la Raíz



Nota: Gráfica extraída de *Statgraphics Centurion*

### ANOVA para Fitorremediación Raíz

Para determinar el efecto que pueda tener los tratamientos en la fitorremediación de la raíz de la planta *Brassica juncea*, realizamos un análisis ANOVA a los datos encontrados en los tratamientos T3 y T5.

**Tabla 11**

Anova Fitorremediación Raíz.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1326.47	1	1326.47	126.52	0.0000
Intra grupos	167.744	16	10.484		
Total (Corr.)	1494.21	17			

Fuente: *Statgraphics Centurion*

En la Tabla ANOVA realizado para los datos obtenidos de la capacidad de fitorremediación de las raíces podemos verificar que el valor-P es menor que 0.05, lo

que significa que hay efectos estadísticamente significativos entre la media de fitorremediación raíz entre los niveles de concentración de cadmio y otro, con un nivel del 95.0% de confianza por lo que se afirma que existe un efecto significativo en los tratamientos evaluados para la fitorremediación de la raíz.

### **Pruebas de Normalidad para la fitorremediación del tallo.**

Para determinar la normalidad de los datos obtenidos respecto a la fitorremediación del tallo de la planta *Brassica juncea* después de los tratamientos aplicamos la prueba de Chapiro Wilk. Para esta prueba se tiene en cuenta los siguientes criterios:

*Valor-P*  $\geq 0,05$ : Significa que aceptamos la hipótesis nula y los datos proceden de una distribución normal.

*Valor-P*  $\leq 0,05$ : Se acepta la hipótesis alterna y los datos no provienen de una distribución normal.

**Tabla 12**

*Prueba de Shapiro Wilk para Fitorremediación Tallo*

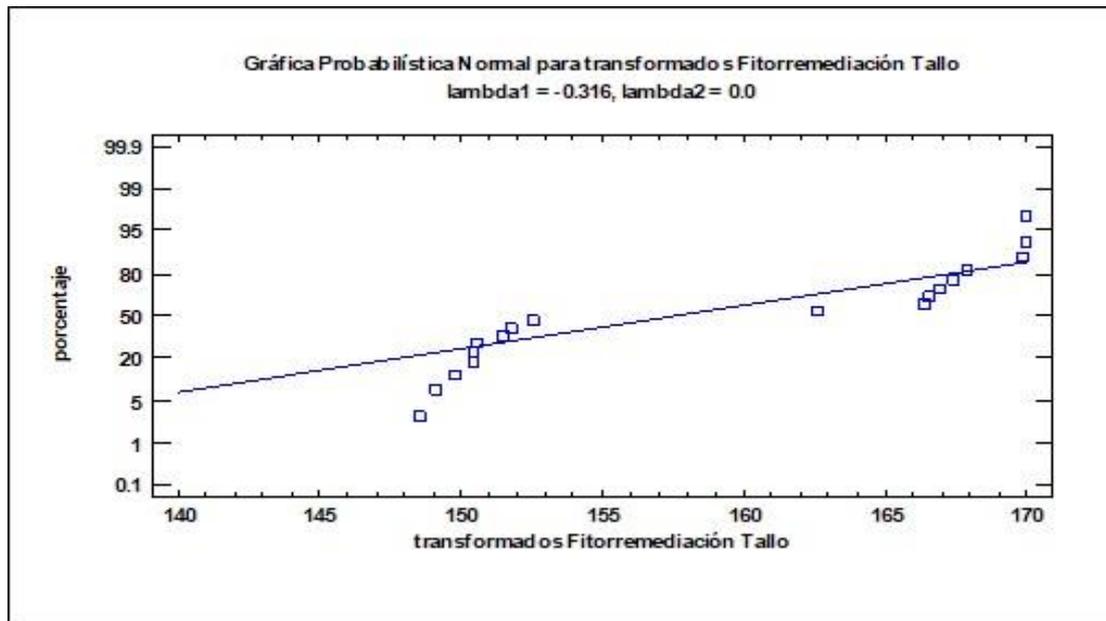
<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.795024	0.000892295

Fuente: Statgraphics Centurion

Teniendo en cuenta la **Tabla 12** podemos observar que menor valor P obtenido de los ensayos que se realizaron es menor a 0.05 es posible rechazar la idea de que los datos obtenidos para la Fitorremediación de la Raíz provienen de una distribución normal trabajando con un 95% de confianza por lo tanto aceptamos nuestra hipótesis alterna.

**Figura 8**

*Gráfica de la Normalidad para la Fitorremediación del Tallo*



*Nota:* Gráfica extraída de Statgraphics Centurion

### **ANOVA para Fitorremediación Tallo**

Para determinar el efecto que pueda tener los tratamientos en la fitorremediación del tallo de la planta *Brassica juncea*, realizamos un análisis ANOVA a los datos obtenidos en los tratamientos T3 y T5.

**Tabla 13**

*Anova Fitorremediación Tallo*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1361.2	1	1361.2	218.10	0.0000
Intra grupos	99.8584	16	6.24115		
Total (Corr.)	1461.06	17			

**Fuente:** Statgraphics Centurion

En la Tabla ANOVA realizado para los datos obtenidos de la capacidad de fitorremediación de los tallos podemos verificar que el valor-P es menor que 0.05, lo que significa que hay efectos estadísticamente significativos entre la media de fitorremediación de los tallos entre los niveles de concentración de cadmio y otro, con un nivel del 95.0% de confianza por lo que existe un efecto significativo respecto a los tratamientos evaluados para la fitorremediación del tallo

De acuerdo con el análisis estadístico hecho a nuestra base de datos concluimos que se acepta nuestra hipótesis de que *La Brassica juncea*. es fitorremediadora con metales pesados como el cadmio.

## IV. DISCUSIÓN

### **Determinación de la concentración de cadmio en la relavera San Felipe y del suelo agrícola del área de influencia**

Se determinó la concentración de cadmio en cuatro puntos de la relavera de San Felipe en el distrito de Quiruvilca la misma que nos arrojó 6.2033 mg/kg en el punto 1, 4.9875 mg/kg en el punto 2, 6.9967 mg/Kg en el punto 3, 5.8816 mg/Kg en el punto 4 y 1.3863 mg/kg en el suelo agrícola. Como podemos observar en los 4 puntos muestreados de la relavera San Felipe del distrito de Quiruvilca existe altos contenidos de cadmio que supera el límite exigido por los estándares de calidad ambiental para suelo según D.S N° 011-2017 MINAM-ECA el mismo que debe ser menor a 1.4 mg/kg. En cuanto al suelo agrícola de la zona de influencia se encuentra por debajo de límite exigido por la norma.

Según (Reyes L, & Villanueva C., 2021) determinaron la concentración de cadmio en la relavera de Quiruvilca que se encuentra a pocos kilómetros de la relavera San Felipe en la cual el promedio de cadmio encontrado por ellos fue de 20.015 mg/kg que supera muy ampliamente la concentración de cadmio con respecto al de San Felipe.

### **Concentración de cadmio en las raíces y tallos de la planta *Brassica juncea* después de los tratamientos.**

Se determinó que en el tratamiento 3 (75 % de suelo agrícola y 25 % de relave minero) las raíces lograron concentrar en promedio 0.8573 mg/Kg de cadmio significando una capacidad de fitorremediación de cadmio en la raíz de 30.75 % y en el tratamiento 5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero) las raíces concentraron un promedio de 0.6884 mg/Kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en la raíz de la planta *Brassica juncea* de 49.65 %. Como podemos apreciar en el tratamiento 5 existe mayor capacidad de fitorremediación de cadmio en la raíz de la planta *Brassica juncea*. debido a que en el tratamiento 5 la concentración inicial de cadmio es menor a la concentración inicial del tratamiento 3. En el tratamiento 3 (75 % de suelo agrícola y 25 % de relave minero) los tallos lograron concentrar en promedio 0.5259 mg/Kg de cadmio significando una capacidad de fitorremediación de cadmio en los tallos de 18.86 % y en el tratamiento 5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero) los tallos concentraron un

promedio de 0.5174 mg/Kg de cadmio significando un porcentaje promedio de fitorremediación de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea* de 37.32 %. Como podemos apreciar en el tratamiento 5 existe mayor capacidad de fitorremediación de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea*. debido a que en el tratamiento 5 la concentración inicial de cadmio es menor a la concentración inicial del tratamiento 3. Comparando los resultados podemos afirmar que la planta *Brassica juncea* acumula las mayores concentraciones de cadmio en las raíces de las plantas.

Chao et al., (2023) realizaron un estudio para determinar el potencial de fitorremediación de la *Brassica juncea* al cadmio mediante procesos de hidroponía en la cual sus resultados obtenidos concluyeron que las diferentes partes de la planta son bioacumuladoras de cadmio y que puede utilizarse como agente fitorremediador eficaz del cadmio.

Los resultados obtenidos también se comparan con los estudiados. (Shuqiang et al., 2023) que determinaron que la capacidad de fitorremediación de las raíces de la *Brassica juncea* esta entre 51,5 y 52,5 % y para aumentar la capacidad fitorremediadora utilizaron bacterias del ácido láctico.

### **Capacidad de fitorremediación de *Brassica juncea* en suelos contaminados con cadmio de la relavera San Felipe.**

Al realizar la evaluación de la capacidad de fitorremediación de la *Brassica juncea* de suelos contaminados con cadmio se determinó que en el tratamiento 3 (75 % de suelo agrícola y 25 % de relave minero) se logró una capacidad de fitorremediación de la *Brassica juncea* equivalente a 49.62 % y el tratamiento 5 (100 % de suelo agrícola y 0 % de relave minero) se logró una capacidad de fitorremediación de la *Brassica juncea* equivalente a 86.98 %. Como podemos apreciar en el tratamiento 5 es donde se obtiene la mayor capacidad de fitorremediación de la *Brassica juncea* en suelos con contaminación de cadmio.

Ancalla Tuero & Cochachin Tineo, (2020) en su trabajo de investigación determinaron la capacidad de adsorción de la *Brassica juncea* con biosurfactantes (lecitina de soja y goma guar) con la finalidad de disminuir la contaminación de suelos con plomo a los alrededores

de la procesadora Minex en el Distrito de Vista Alegre, Provincia de Nazca. En su trabajo de investigación obtuvieron su mayor adsorción en 67.2 %. La planta *Brassica juncea* es una familia de la *Brassica sp* y por lo tanto puede adsorber metales como el cadmio en las mismas proporciones

Dhaliwal et al., (2020) en su trabajo de investigación determinaron el potencial fitorremediador de tres especies de *Brassica* en suelos contaminados con cadmio utilizando suelos franco arenosos en la que concluyeron que de las tres especies la *Brassica juncea* muestra altos porcentajes de adsorción de cadmio debido a su alto rendimiento de biomasa.

## V. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó la concentración de cadmio en 4 puntos de la Relavera San Felipe las mismas que nos dieron los siguientes resultados: 3.1923 mg/kg., 1.9670 mg/Kg., 4.1317 mg/Kg y 1.5374 mg/Kg además de determinar la concentración de cadmio en suelo agrícola del distrito de Quiruvilca equivalente a 1.3863 mg/Kg. Todos superan los límites máximos permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental para suelos.
- ✓ Se determinó que la concentración de cadmio en las raíces de la planta *Brassica juncea*. en el Tratamiento 3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero) fue de 0.8573 mg/kg que representa una capacidad de fitorremediación de 30.75 y en el tratamiento 5 (100% suelo agrícola) fue de 0. 6884 mg/kg que representa el 49.65 %.
- ✓ Se determinó que la concentración de cadmio en los tallos de la planta *Brassica juncea*. en el Tratamiento 3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero) fue de 0.5259 mg/kg que representa una capacidad de fitorremediación de 18.86 % y en el tratamiento 5 (100% suelo agrícola) fue de 0. .5174 mg/kg que representa el 37.32 %.
- ✓ Se determinó la capacidad de fitorremediación de cadmio en suelos contaminados con cadmio utilizando la especie *Brassica juncea*. y los resultados obtenidos fue que en el tratamiento 3 (75% de suelo agrícola y 25 % de relave minero) hubo 49.62 % de fitorremediación y en el tratamiento 5 (100% de relave minero) hubo 86.98 % de fitorremediación.
- ✓ De la evaluación realizada en el trabajo de investigación se demostró que la especie *Brassica juncea* tiene una alta capacidad de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio

-

## VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda evaluar la fitorremediación sembrando directamente la semilla de la planta en los diferentes tratamientos y así realizar una mejor evaluación teniendo en cuenta que la planta adsorbería los metales pesados desde su germinación.
- ✓ Realizar una evaluación de fitorremediación de la planta *Brassica juncea* con todos los metales que contienen los suelos de la relavera puesto que esta planta también puede adsorber otros metales pesados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancalla Tuero, E., & Cochachin Tineo, K. (2020). *Brassica juncea* con biosurfactantes para reducir la concentración de plomo en suelos contaminados a inmediaciones de la Procesadora Minex, Nazca – 2020. *Renaty*.  
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2945833>
- Apacila P, R., & Pezo L., A. (2015). Evaluacion de metales en corteza de *Maytenus macrocarpa* (chuchuhuasi) de uso etnomedicinal en la Región Loreto. (*Tesis*). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.
- Arenas M., S., & Hernández C., S. (2012). Fitotoxicidad del Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra*. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Medellin, Medellin, Colombia.
- Argota Perez, G., Encinas Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone, J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *alopecurus magellanicus bracteatus* y *muhlenbergia angustata* (poaceae), Puno, Perú. *The Biologist*, 12(1). <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/390>
- Baldwin, P., & Butcher, D. (2007). Phytoremediation of arsenic by two hyperaccumulators in a hydroponic environment. *Microchemical Journal*, 297-300.
- Benavides, R. (2012). *La minería responsable y sus aportes al desarrollo del Perú*. Lima: Comunica2 SAC.
- Burken , J., & Ma, X. (2006). Phytoremediation of volatile organic compounds. En: *Phytoremediation Rhizoremediation. Springer Netherlands*, 199-216.
- Chao , Z., Feng, H., & Lanzhou , C. (2023). Fitorremediación de agua co-contaminada con triclorfón de cadmio por mostaza india ( *Brassica juncea* ): crecimiento y respuestas fisiológicas. *Revista Internacional de Fitorremediación*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2237119>
- Charter , R. A., M.A., T., & J.W., S. (1993). Metal contents of fertilizers marketed in Iowa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* , 961-972.
- COEN (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional). (2018). Peligro por derrame de relave minero en el Distrito de Quiruvilca. La Libertad.  
<https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2018/12/20181124141924.pdf>
- Cruz , M., & Guzman, A. (2007). *La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales*. Universidad de Sevilla, España.

- Cunningham, S., Berti, W., & Huang, J. (1995). ). Phytoremediation of contaminated soils and sediments. . *Trends in Biotech*, 393-397.
- Delgadillo Lòpez, A., Gonzales Ramìrez C., Prieto Garcìa, F., Villagòmez Ibarra, J., & Acevedo Sandoval, O. (2011). “Fitorremediación: una alternativa para eliminar contaminación”. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 14(2), 598.
- Dhaliwal, S. S., Taneja, P. K., Singh , J., Bhatti, S. S., & Singh, R. (2020). Cadmium Accumulation Potential of Brassica Species Grown in Metal Spiked Loamy Sand Soil. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 29(6), 638-649. <https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1758031>
- Diaz Davila, M. Y. (2017). Capacidad de Acumulación de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. Retrieved 10 de Febrero de 2021.
- Diez Lázaro, F. J. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evalaución de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. (*Tesis Doctoral*). universidad de Santiago de Compostela, Compostela.
- Emsley, J. (2001). Nature´sbuilding blocks: An A-Z guide to the elements. . En *Oxford University Press*. . Washintong, DC, USA.
- Escobar, R. (2018). Mongobay, Perú. <https://es.mongabay.com/2018/05/fabiola-munoz-ministra-del-ambiente-de-peru-entrevista/>
- Freitas, H., Prasad, M., & Pratas, J. (2004). Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation. *Enviromental International*, 30(2), 65-72.
- Garbisu, C., Amézaga, I., & AlKorta, I. (2002). Biorremediación y Ecología. *Ecosistemas*.
- Harvey, P., Campanella, B., Castro, P., & Harms , H. (2002). Phytoremediation of Polyaromatic Hidrocarbons, Anilines and Phenols. *Enviromental Science and Pollution Research* , 9, 29-47.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). (2009). Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. PHYTO-3. Washington, D.C. *Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team*, 113.
- Jian Wei, W., Chen, J., William, R., & Cunningham, R. (1997). ). Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.*, 31, 800-805.

- Jones, F. (2007). A broad view of arsenic. *Poult Sci*, 86(1), 2-14.
- Khatal, R., Malhotra, P., Kumar, L., & Uniyal, P. L. (2016). Phytoextraction of Pb and Ni from the Polluted Soil by *Brassica juncea* L. *Environmental & Analytical Toxicology*. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000394>
- López , S., Gallegos Martínez, M. E., Pérez Flores, L. J., & Gutierrez Rojas , M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional Contaminación Ambiental.*, 21(2), 91-100.
- Monsalve , C., & Cano, A. (2003). La familia Brassicaceae en la provincia de Huaylas, Ancash. *Revista Peruana de Biología*, 10(1).  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332003000100003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332003000100003)
- Moreno Jiménez, E. (2010). Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico mediante fitotecnologías. (*Tesis Doctoral*). Universidad Autonoma de Madrid, Madrid, España.
- National Research Council. (2001). Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, cooper, iodone, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. *Institute of Medicine/ food and Nutrition Board. Nacional Academy Press*. Washington DC.
- Nuñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguin, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69-70.
- OCM. (2018). Observatorio de Conflictos Mineros en el Perú. *Segundo Semestre 2018*(23). <http://conflictosmineros.org.pe/wp-content/uploads/2018/12/Revista-Informe-de-Conflictos-Mineros-VIII-5-1.pdf>
- Papuico H., K. (2018). Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (*Senecio Rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú.
- Papuico Manrique, R. d. (2020). Fitorremediación de un suelo contaminado con cadmio, utilizando *Lupinus mutabilis* y estiércol de lombriz. Huancaní, Jauja. 2019. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Prasad, M., & Freitas, H. (2003). Metal Hyperaccumulation In Plants Biodiversity Prospecting For Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 276-321.

- Real Academia Española RAE. (2014). *Diccionario de la lengua española* (23 ed.). Madrid España.
- Rojas , A. (2007). Manejo ambiental de relaves . Disposición subacuática. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Romero, A. (2015). Tratamiento de relaves mineros con plantacion de gramoneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región central del Perú. (*Tesis de Maestria*). Universidad del centro del Perú, Huancayo, Peú.
- Romero, A., & Flores, S. (2010). Reúso de relaves mineros como insumos para la elaboración de agregados de construccion para fabricar ladrillo y baldosas. *Industrial Data*, 13, 75-82.
- Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008). Estudio de los metales pesados en relave abandonado de Ticapampa. *Revista del Istituto de Investigación*, 11, 13-16.
- Roy, S., Labelle, S., Metha, P., Mihoc, A., Fortin, N., Masson, C., . . . Greer, C. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH contaminated brownfield sites. *Plant and soil*, 272; 277-290.
- Santini, J., Sly, L., Schanagl, R., & Macy, J. (2000). A new chemolithoautotrophic arsenite-oxidizing bacterium isolated from a gold mine: physiological, and preliminary biochemical studies. *Aplications Environmental Microbiology*(66), 92-97.
- Sauve, S., W. Henderson, & H.E. Allen. (2000). Solid-solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environ. Sci. Technol*, 34, 1125-1131.
- Shrestha, B., Lipe, S., Jhonson, K. A., Zhan, Q. T., Retzlaff , W., & Lin, Q. (2006). Soil hydraulic manipulation and organic amendment for the enhancement of selenium volatilization in a soil–pickleweed system. . *Plant and Soil*, 189-196.
- Shuqiang, Z., Yiman , L., Ping , W., & Han, Z. (2023). Lactic acid bacteria promoted soil quality and enhanced phytoextraction of Cd and Zn by mustard: A trial for bioengineering of toxic metal contaminated mining soils. *Environmental Research*, 216(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114646>
- Sotomayor, A. (2016). Remediación de pasivos ambientales mineros como estrategia para el cuidado del ambiente. Lima. [http://repositorio-anterior.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3395/Sotomayor\\_Cabrera\\_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio-anterior.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/3395/Sotomayor_Cabrera_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Spain, A. (2003). Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Enviroment. *Reviews In Undergraduate Research*(2), 1-6.
- Tchounwou, P., Wilson, B., & Ishaque, A. (1999). Important considerations in the development of public healt advisories for arsenic.containing compounds in drinking water. *Rev. Environ Health*, 14(4), 211-29.
- Tokuho, M. Y. (2019). Uso de *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annus* L. y *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo y níquel. 2019. (*Licenciatura en Ingeniería Ambiental*). Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Campo Mourão.
- Vardanyan, L., & Ingole, B. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *Environment International.*, 32, 208-218.
- Volke, T., Velasco, J., & Pérez, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de ecología. . *Secretaría de medio ambiente y recursos naturales*.
- Vullo, L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interaccion en beneficio del medio ambiente. *Revista Quimica*, 3, 93-104.
- Watt, M., & Evans, J. (1999). Proteoid roots physiology and devemepment. *Plant Physiol*, 121, 317-323.
- Zhang, Q., Davis, L., & Erick, L. (2000). Heavy Metal. In: *Hazardous Substance Res.* 2(49:1.
- Zúñiga López, P. A. (2020). Fitorremediación de suelo agrícola contaminado con cadmio con la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, en la cuenca baja del río Guayas. (*Tesis para obtener grado de Ingeniero Ambiental*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

## **ANEXOS**

Tabla 14: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES	MÉTODOS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<i>Problema Principal</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>						
¿Es posible fitorremediar metales pesados como el cadmio utilizando <i>Brassica</i> sp. en suelos del distrito de Quiruvilca?	Evaluar la capacidad de fitorremediación de cadmio utilizando <i>Brassica juncea</i> . en el distrito de Quiruvilca	La <i>Brassica</i> sp. es fitorremediadora con metales pesados como el cadmio.	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración de Cadmio en los tratamientos de suelos contaminados</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración de cadmio en la planta <i>Brassica juncea</i>.</li> <li>- Capacidad de fitorremediación de metales pesados (Cadmio)</li> </ul>	<p>Concentración de cadmio</p> <p>Cantidad de cadmio en la planta <i>Brassica juncea</i>.</p> <p>Porcentaje de Fitorremediación</p>	<p>- Cantidad de cadmio (ppm).</p> <p>- Cantidad de cadmio (ppm).</p> <p>Porcentaje de fitorremediación (%)</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Cuantitativa y Aplicada</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> Esta investigación presenta un diseño de investigación experimental pues se realizará una medición previa de las especies <i>Brassica juncea</i>. sin exponerlas a relave de mina, luego se aplicará el tratamiento para posteriormente hacer una nueva medición y obtener los resultados de diferenciación de las variables dependientes</p>	<p><b>Observación experimental</b> debido a que se trata de un proceso en la que el objetivo principal es adquirir información respecto al objeto de estudio, los investigadores interpretarán lo observado</p> <p><b>Evaluación:</b> Permite obtener información sobre el Pre y del Post test, como resultados de haber aplicado el tratamiento a los suelos contaminados en los diferentes procesos de estudio</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registro de análisis de cadmio de los sustratos preparados para el estudio antes de sembrado de la <i>Brassica juncea</i>.</li> <li>- Registro de análisis de cadmio en la planta <i>Brassica juncea</i>. después del proceso de fitorremediación</li> <li>- Análisis de los resultados para determinar el porcentaje de fitorremediación</li> </ul>

## RESULTADOS DE LABORATORIO

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



### INFORME DE ANÁLISIS F.Q.A. PERÚ S.A.C.

SOLICITANTE	: EDWIN LEON CASIO ALEX BENITES CARLOS
MUESTRA	: Raíz, Tallo y Suelo
FECHA DE INGRESO	: 16 DE MAYO DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

#### ANÁLISIS DE METALES PESADOS:

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	PESO DE MUESTRA SECA (gramos)	PARÁMETRO CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
T3R1	0.0430	0.8954	mg/kg	0.0018
T3T1	0.0794	0.526	mg/kg	0.0018
T3R2	0.0282	0.8569	mg/kg	0.0018
T3T2	0.0972	0.5023	mg/kg	0.0018
T3R3	0.0355	0.8532	mg/kg	0.0018
T3T3	0.0875	0.4925	mg/kg	0.0018
T3R4	0.0471	0.8423	mg/kg	0.0018
T3T4	0.1191	0.5124	mg/kg	0.0018
T3R5	0.0490	0.8025	mg/kg	0.0018
T3T5	0.1708	0.5236	mg/kg	0.0018
T3R6	0.0476	0.8632	mg/kg	0.0018
T3T6	0.1790	0.5421	mg/kg	0.0018
T3R7	0.0251	0.8025	mg/kg	0.0018
T3T7	0.1241	0.5482	mg/kg	0.0018
T3R8	0.0571	0.8236	mg/kg	0.0018
T3T8	0.0955	0.5238	mg/kg	0.0018
T3R9	0.0121	0.9762	mg/kg	0.0018
T3T9	0.1266	0.5625	mg/kg	0.0018

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.

\*ND: No detectable, fuera del rango



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

# LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.



ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	PESO DE MUESTRA SECA (gramos)	PARÁMETRO - CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
T5R1	0.0123	0.7520	mg/kg	0.0018
T5T1	0.1196	0.5120	mg/kg	0.0018
T5R2	0.2612	0.6580	mg/kg	0.0018
T5T2	0.8313	0.5236	mg/kg	0.0018
T5R3	0.1152	0.6923	mg/kg	0.0018
T5T3	0.5654	0.4925	mg/kg	0.0018
T5R4	0.1471	0.6125	mg/kg	0.0018
T5T4	2.3514	0.4235	mg/kg	0.0018
T5R5	0.2028	0.7123	mg/kg	0.0018
T5T5	0.3117	0.5694	mg/kg	0.0018
T5R6	0.0954	0.6852	mg/kg	0.0018
T5T6	0.9633	0.5028	mg/kg	0.0018
T5R7	0.3256	0.5967	mg/kg	0.0018
T5T7	0.9141	0.4958	mg/kg	0.0018
T5R8	0.1973	0.7512	mg/kg	0.0018
T5T8	0.4806	0.5690	mg/kg	0.0018
T5R9	0.1148	0.7351	mg/kg	0.0018
T5T9	0.9394	0.5680	mg/kg	0.0018

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.

\*ND: No detectable, fuera del rango

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	PARÁMETRO - CADMIO (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M1	3.1923	mg/kg	0.0018
M2	1.9670	mg/kg	0.0018
M3	4.1317	mg/kg	0.0018
M4	1.5374	mg/kg	0.0018
T5	1.3863	mg/kg	0.0018

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.

\*ND: No detectable, fuera del rango

TRUJILLO, 31 DE MAYO DEL 2023



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: EDWIN LEON CASIO ALEX BENITES CARLOS
MUESTRA	: SUELO
UBICACIÓN	: RELAVERA SAN FELIPE - SHOREY
PUNTO	: 01
PROFUNDIDAD	: 30cm.
HORA	: 10:30am
PESO	: 1.00 kg
COORDENADAS	: 8°00'08S - 78°20'58W
FECHA DE INGRESO	: 07 DE FEBRERO DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CADMIO:**

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		Cadmio (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M01	MUESTRA SUELO M01	6.2033	mg/kg	0.020

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.*

*\*ND: No detectable, fuera del rango*

TRUJILLO, 15 DE FEBRERO DEL 2023

  
CARLOS ALVARADO  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 122568

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: EDWIN LEON CASIO ALEX BENITES CARLOS
MUESTRA	: SUELO
UBICACIÓN	: RELAVERA SAN FELIPE – SHOREY
PUNTO	: 02
PROFUNDIDAD	: 30cm.
HORA	: 10:30am
PESO	: 1.00 kg
COORDENADAS	: 8°00'08S – 78°20'58W
FECHA DE INGRESO	: 07 DE FEBRERO DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CADMIO:**

CODIFICACIÓN DE MUESTRA	Cadmio (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M01 MUESTRA SUELO M01	4.9875	mg/kg	0.020

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.*

*\*ND: No detectable, fuera del rango*

**TRUJILLO, 15 DE FEBRERO DEL 2023**

  
CARLOS FERNANDO VALQUI MENDOZA  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 122583

**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL**

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: EDWIN LEON CASIO
	ALEX BENITES CARLOS
MUESTRA	: SUELO
UBICACIÓN	: RELAVERA SAN FELIPE – SHOREY
PUNTO	: 03
PROFUNDIDAD	: 30cm.
HORA	: 10:30am
PESO	: 1.00 kg
COORDENADAS	: 8°00'08S - 78°20'58W
FECHA DE INGRESO	: 07 DE FEBRERO DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CADMIO:**

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		Cadmio (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M01	MUESTRA SUELO M01	6,9967	mg/kg	0,020

*Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - FAA con Horno de Grafito.  
\*ND: No detectable, fuera del rango*

**TRUJILLO, 15 DE FEBRERO DEL 2023**

  
CARLOS  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 122759

**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL**

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com



**INFORME DE ANÁLISIS  
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTE	: EDWIN LEON CASIO ALEX BENITES CARLOS
MUESTRA	: SUELO
UBICACIÓN	: RELAVERA SAN FELIPE – SHOREY
PUNTO	: 04
PROFUNDIDAD	: 30cm.
HORA	: 10:30am
PESO	: 1.00 kg
COORDENADAS	: 8°00'08S – 78°20'58W
FECHA DE INGRESO	: 07 DE FEBRERO DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

**ANÁLISIS QUÍMICO DE CADMIO:**

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		Cadmio (Cd)	UNIDADES	LÍMITE DE DETECCIÓN
M01	MUESTRA SUELO M01	5.8816	mg/kg	0.020

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.  
\*ND: No detectable, fuera del rango

**TRUJILLO, 15 DE FEBRERO DEL 2023**

  
CARLOS ALBERTO VALQUI MENDOZA  
INGENIERO QUÍMICO  
CIP 122583

**AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL**

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

## FOTOS

**Figura 9**

*Recolectando suelo de Relavera San Felipe*



**Figura 10**

*Recolectando suelo agrícola de la zona de Quiruvilca*



**Figura 11**  
*Mezcla de Relave minero con suelo agrícola*



**Figura 12**  
*Crecimiento de plantas en los tratamientos*



**Figura 13**  
*Plantas Brassica sp en el Laboratorio*



# INFORME DE TESIS - LEON & BENITES

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>14%</b>	<b>14%</b>	<b>2%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.uct.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>convencion.uclv.cu</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Catolica de Trujillo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.unica.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

10	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://repositorio.uwiener.edu.pe">repositorio.uwiener.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://l2-news.com">l2-news.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://idus.us.es">idus.us.es</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://ninive.uaslp.mx">ninive.uaslp.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
19	<a href="http://repositorio.unam.edu.pe">repositorio.unam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.utfpr.edu.br:8080">repositorio.utfpr.edu.br:8080</a>	

	Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
23	Submitted to 94839 Trabajo del estudiante	<1 %
24	dspace.uclv.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uaaan.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
26	studylib.es Fuente de Internet	<1 %
27	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to Universidad de Valladolid Trabajo del estudiante	<1 %
32	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

---

33 Submitted to Universidad Continental  
Trabajo del estudiante

<1 %

---

34 repositorio.upn.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

---

35 Submitted to Universidad Andina Nestor  
Caceres Velasquez  
Trabajo del estudiante

<1 %

---

36 Submitted to Universidad Católica San Pablo  
Trabajo del estudiante

<1 %

---

37 alicia.concytec.gob.pe  
Fuente de Internet

<1 %

---

38 repositorio.unsm.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

---

39 repositorio.utp.edu.pe  
Fuente de Internet

<1 %

---

40 www.engormix.com  
Fuente de Internet

<1 %

---

41 Submitted to Universidad Internacional de la  
Rioja  
Trabajo del estudiante

<1 %

---

42 bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083  
Fuente de Internet

<1 %

---

43	koreascience.or.kr Fuente de Internet	<1 %
44	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	tede.unioeste.br Fuente de Internet	<1 %
49	www.thepharmajournal.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	www.zaragoza.unam.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo