

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AMBIENTAL Y SANITARIA**



TESIS

**“FITORREMEDIACIÓN CON ENMIENDAS ORGÁNICAS EN
SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS POR
EL COMPLEJO METALÚRGICO LA OROYA, JUNÍN”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
CONTAMINACIÓN POR MINERÍA**

**PRESENTADO POR:
Bach. FLORES PAUCAR BLANCA NINOSKA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

HUANCAMELICA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 04 días del mes de julio del año 2022, a horas 4:00 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA
<https://orcid.org/0000-0001-7833-6805>
DNI N° 23275655

SECRETARIA : M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA
<https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>
DNI N° 41063829

ASESOR : Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO
<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>
DNI N° 40446828

Designados con Resolución de Decano N° 010-2022-FCI-UNH, de fecha 12 de enero del 2022, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "FITORREMEDIACIÓN CON ENMIENDAS ORGÁNICAS EN SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS POR EL COMPLEJO METALÚRGICO LA OROYA, JUNÍN", presentado por la Bachiller Blanca Ninoska FLORES PAUCAR con DNI N° 71127117; a fin de optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; Finalizado la evaluación a horas.....4:42pm, se invitó al público presente y a la sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

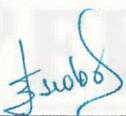
APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO POR

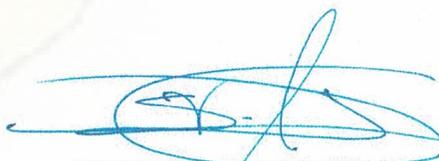
En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



Secretario



Asesor

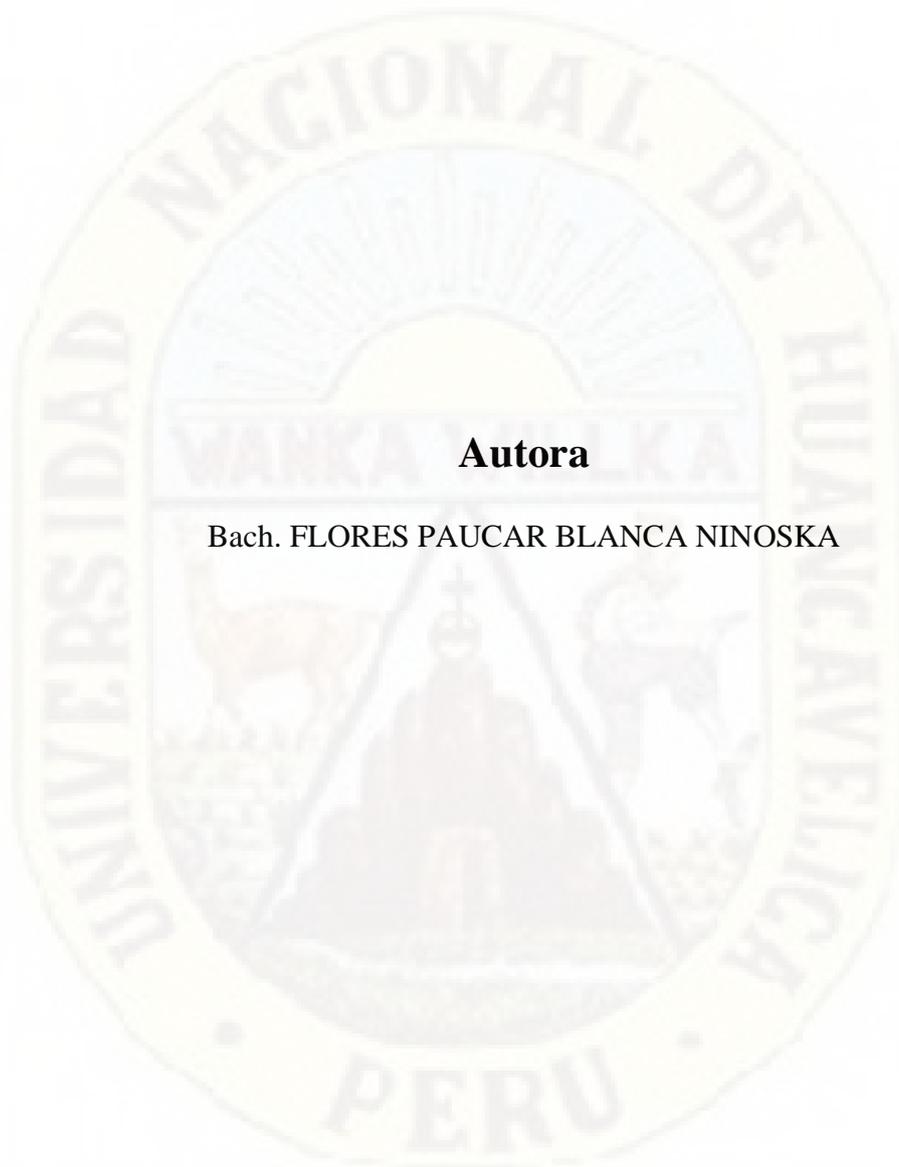


Vº Bº Decano



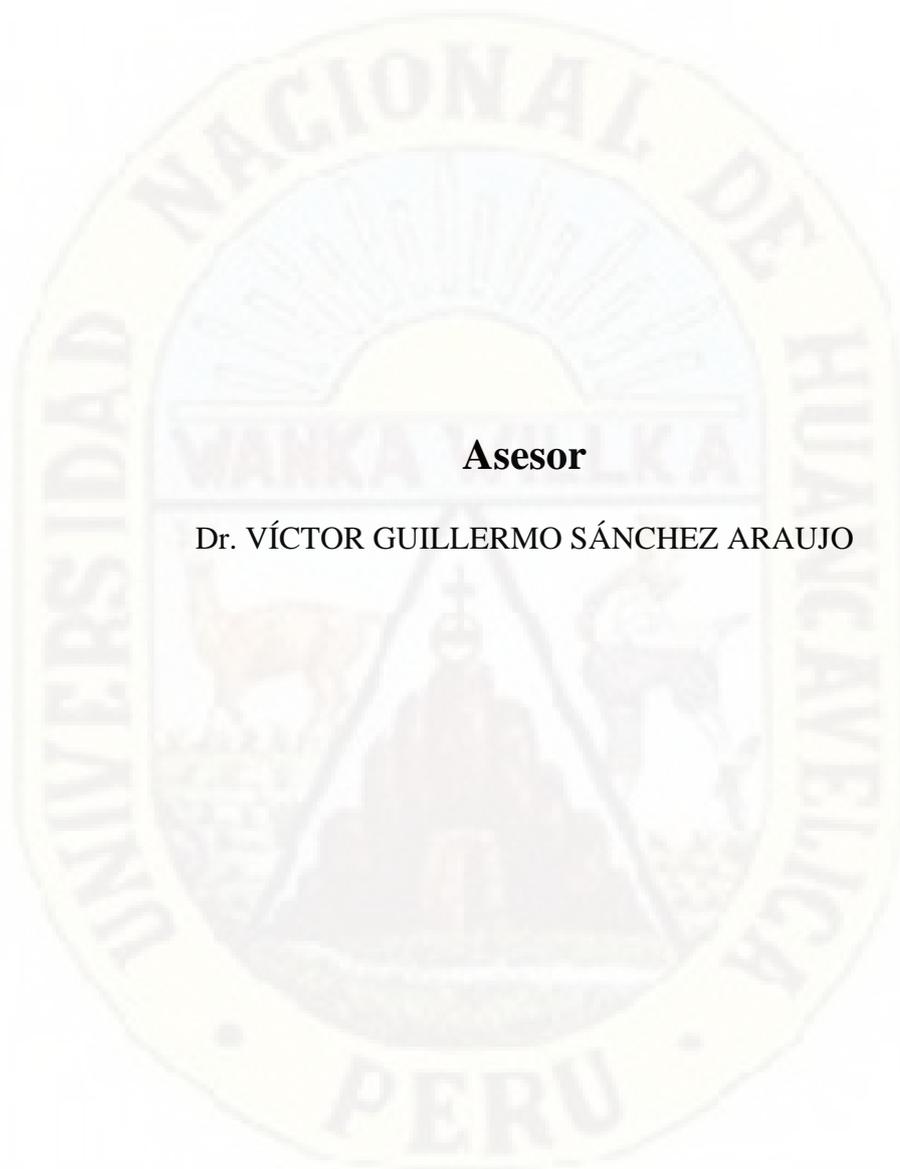
Título

“FITORREMEDIACIÓN CON ENMIENDAS ORGÁNICAS EN SUELOS
CONTAMINADOS CON METALES PESADOS POR EL COMPLEJO
METALÚRGICO LA OROYA, JUNÍN”



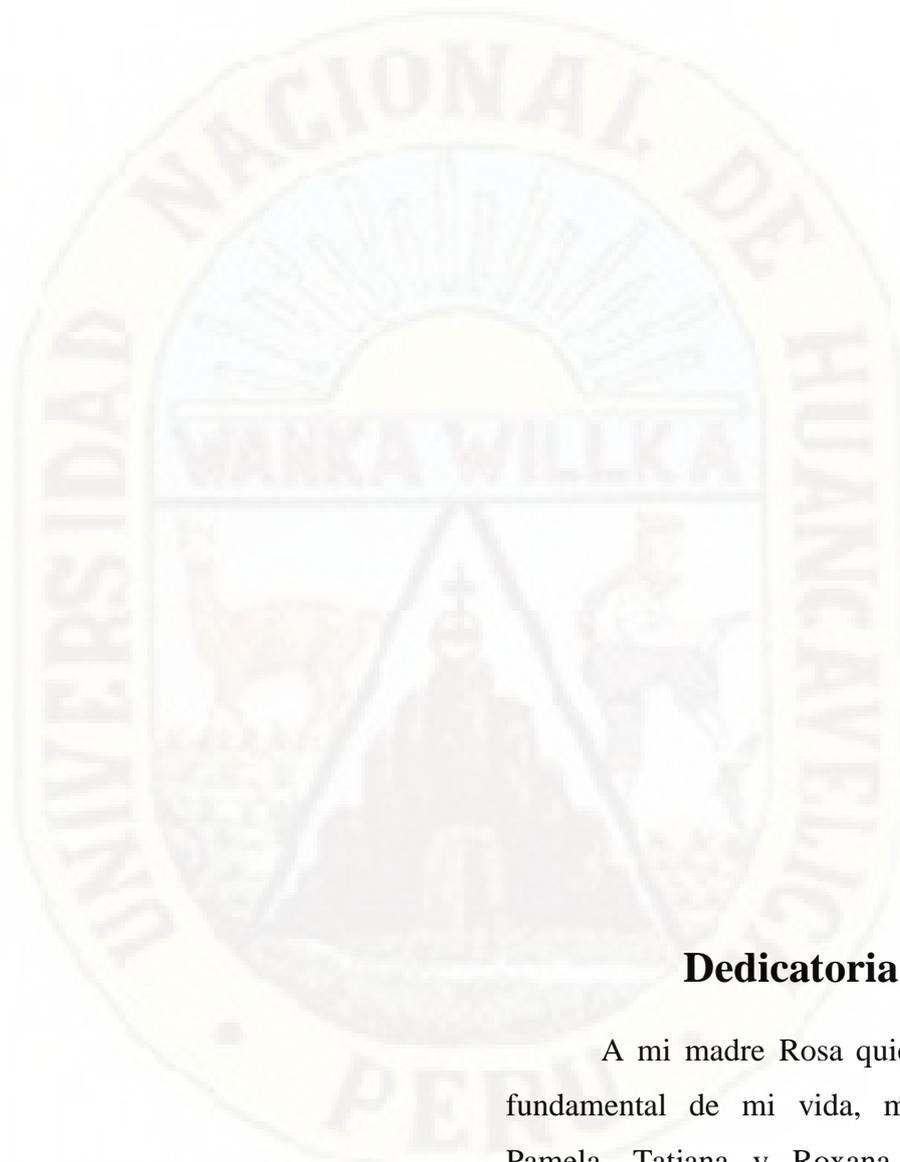
Autora

Bach. FLORES PAUCAR BLANCA NINOSKA



Asesor

Dr. VÍCTOR GUILLERMO SÁNCHEZ ARAUJO



Dedicatoria

A mi madre Rosa quien es el pilar fundamental de mi vida, mis hermanas Pamela, Tatiana y Roxana quienes me inspiran a ser una mejor persona cada día, finalmente a la familia Paucar Vila por su apoyo incondicional.

Agradecimiento

A Dios, papito Urbano y mi tío Paúl quienes guían mi camino para ser una mejor persona cada día y no me rinda fácilmente.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, de mi especial consideración a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, donde obtuve los conocimientos y habilidades pertinentes para mi desarrollo personal y profesional.

A las personas que contribuyeron a la culminación exitosa de mi educación profesional y la tesis, quienes son: mi madre Rosa, mis hermanas Pamela, Tatiana y Roxana, mamita Amanda, mis tíos Max y Jesús, mis tías Patricia, Elizabeth y Amanda, mis primas, Ghina, Valeria, Valentina, finalmente mis primos Aydan y Urbano.

A mi asesor de investigación, el Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, quien me brindo las pautas adecuadas y necesarias para un buen desarrollo y la exitosa culminación de la tesis.

A mis jurados, Dr. Pedro Antonio Palomino Pastrana y Msc. Mabel Yesica Escobar Soldevilla, quienes me guiaron para el mejoramiento del informe final de tesis.

Índice

Título	iii
Autora.....	iv
Asesor	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice	viii
Índice De Tablas.....	xi
Índice De Figuras	xii
Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	xv
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Descripción del problema.....	17
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación.....	20
1.5. Limitaciones	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. A nivel Internacional.....	22
2.1.2. A nivel Nacional	25
2.1.3. A nivel Local.....	26
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	26
2.2.1. Fitorremediación con Phalaris.....	26
2.2.2. Metales pesados	38

2.3.	Bases conceptuales	48
2.4.	Definición de términos	48
2.5.	Hipótesis	50
2.5.1.	Hipótesis General	50
2.5.2.	Hipótesis Específicas	51
2.6.	Variables.....	51
2.7.	Operacionalización de variables.....	52
CAPÍTULO III.....		53
MATERIALES Y MÉTODOS.....		53
3.1.	Ámbito temporal y espacial.....	53
3.1.1.	Ámbito temporal	53
3.1.2.	Ámbito espacial.....	53
3.2.	Tipo de investigación	53
3.3.	Nivel de investigación	54
3.4.	Método de investigación.....	54
3.4.1.	Método general.....	54
3.5.	Diseño de investigación.....	55
3.6.	Población, muestra y muestreo.....	56
3.6.1.	Población.....	56
3.6.2.	Muestra.....	56
3.6.3.	Muestreo.....	57
3.7.	Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	58
3.7.1.	Técnicas.....	58
3.7.2.	Instrumentos.....	59
3.8.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos.....	59
CAPÍTULO IV		61
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		61
4.1.	Presentación de resultados.....	61
4.1.1.	Resultados del crecimiento de las plantas.....	61
4.1.2.	Resultados de la concentración de metales pesados en las hojas.....	62
4.1.3.	Resultados de la concentración de metales pesados en la raíz.....	64
4.1.4.	Resultados de la concentración de metales pesados en el suelo	70
4.2.	Prueba de hipótesis	79

4.3. Discusión de resultados	92
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS	104



Índice De Tablas

Tabla 1. Resumen de los mecanismos de fitorremediación	30
Tabla 2. Comparación del valor nutricional del Phalaris	35
Tabla 3. Clasificación del suelo según su textura	39
Tabla 4. Operacionalización de variables	52
Tabla 5. Puntos de muestreo de suelos	57
Tabla 6. Crecimiento de plantas en función a los días	61
Tabla 7. Concentración de metales pesados en hojas de Phalaris aquatica	63
Tabla 8. Concentración de metales pesados en raíz de la especie Phalaris aquatica	64
Tabla 9. Concentración de plomo en raíz de la especie Phalaris aquatica.....	65
Tabla 10. Concentración de Arsénico en raíz de la especie Phalaris aquatica	67
Tabla 11. Concentración de Cadmio en raíz de la especie Phalaris aquatica	69
Tabla 12. Concentración de plomo en función a las enmiendas orgánicas	70
Tabla 13. Concentración de Arsénico en función a las enmiendas orgánicas	71
Tabla 14. Concentración de Cadmio en función a las enmiendas orgánicas	73
Tabla 15. Concentración de Plomo en el suelo en función a enmiendas orgánicas	74
Tabla 16. Concentración de Arsénico en el suelo en función a enmiendas orgánicas.....	76
Tabla 17. Concentración de Cadmio en el suelo en función a enmiendas orgánicas	77
Tabla 18. Prueba de normalidad para la remoción de metales pesados en función a las enmiendas orgánicas	79
Tabla 19. Prueba de igualdad de varianzas para la fitorremediación con enmiendas orgánicas	81
Tabla 20. Resultados de la prueba de hipótesis general.....	81
Tabla 21. Prueba Tukey para la hipótesis general	82
Tabla 22. Prueba de normalidad para la concentración de Plomo en función a las enmiendas orgánicas	84
Tabla 23. Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Plomo	85
Tabla 24. Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 1	85
Tabla 25. Prueba de normalidad para la concentración de Arsénico en función a las enmiendas orgánicas	87
Tabla 26. Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Arsénico	88
Tabla 27. Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 2	89
Tabla 28. Prueba de normalidad para la concentración de Cadmio en función a las enmiendas orgánicas	90
Tabla 29. Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Cadmio	91
Tabla 30. Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 3	92

Índice De Figuras

Figura 1. Proceso de la fitoextracción	28
Figura 2. Proceso de la fitovolatilización	29
Figura 3. Proceso de la fitodegradación	29
Figura 4. Proceso de la fitoestabilización	30
Figura 5. Población de la investigación	56
Figura 6. Esquematización de la muestra para el análisis de metales pesados	57
Figura 7. Niveles de crecimiento de las plantas según el tipo de enmienda	62
Figura 8. Promedio de concentración de metales pesados en hojas	63
Figura 9. Promedio de concentración de metales pesados en raíz	64
Figura 10. Promedio de concentración de Plomo en la raíz	66
Figura 11. Promedio de concentración de Arsénico en la raíz	68
Figura 12. Promedio de concentración de Cadmio en la raíz	69
Figura 13. Promedio de la concentración de plomo en función a enmiendas orgánicas	71
Figura 14. Promedio de la concentración de Arsénico en función a enmiendas orgánicas ..	72
Figura 15. Promedio de la concentración de Cadmio en función a enmiendas orgánicas ..	73
Figura 16. Concentración de Plomo en el suelo en función a enmiendas orgánicas	75
Figura 17. Concentración de Arsénico en función a enmiendas orgánicas	76
Figura 18. Concentración de Cadmio en el suelo en función a enmiendas orgánicas	78
Figura 19. Normalidad de las concentraciones de metales pesados de acuerdo a las enmiendas orgánicas	80
Figura 20. Prueba de diferencia de medias de Tukey	82
Figura 21. Normalidad de las concentraciones de Plomo de acuerdo a las enmiendas orgánicas	84
Figura 22. Normalidad de las concentraciones de Arsénico de acuerdo a las enmiendas orgánicas	87
Figura 23. Normalidad de las concentraciones de Cadmio de acuerdo a las enmiendas orgánicas	90

Resumen

La presente investigación denominada “Fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, donde el objetivo general fue “Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”. La metodología fue del tipo de investigación aplicada, el nivel de investigación fue explicativo, el diseño que empleo fue el experimental, se tuvo como método general la investigación científica, así mismo la población fue de 105 m² de suelo contaminado con metales pesados y 900 plantas de *Phalaris aquatica*, la muestra fue de 270 especies y 72 muestras de suelo el muestreo que se empleó fue el muestreo probabilístico. Los resultados fueron la concentración inicial de Plomo de 811.16 mg/Kg, Arsénico de 78.41 mg/Kg y Cadmio de 2.13 mg/Kg, la concentración final de Plomo con aserrín 597.86 mg/Kg, en guano de cuy de 496.93 mg/Kg y guano isla de 153.44 mg/Kg, la concentración final de Arsénico con aserrín de 57.85 mg/Kg, con guano de cuy de 34.25 mg/Kg y con guano isla de 8.95 mg/Kg, la concentración de Cadmio con aserrín de 1.51 mg/Kg, con guano de cuy de 1.08 mg/Kg y con guano isla de 0.43 mg/Kg. Las conclusiones fueron: la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas influye significativamente en la disminución de la concentración de metales pesados en el suelo.

Palabras clave: Fitorremediación, metales pesados, Cadmio, Arsénico, Plomo.

Abstract

The present research called “Fitorremediación with organic amendments in soils contaminated with heavy metals by the Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, where the general objective was to “Evaluate the influence of phytoremediation with organic amendments in soils contaminated with heavy metals by the La Oroya Metallurgical Complex, Junín”. The methodology was of the type of applied research, the level of research was explanatory, the design that I use was the experimental, scientific research was taken as a general method, likewise the population was 105 m² of soil contaminated with heavy metals and 900 plants of *Phalaris aquatica*, the sample was 270 species and 72 soil samples the sampling that was used was the probabilistic sampling. The results were the initial lead concentration of 811.16 mg/Kg, arsenic of 78.41 mg/Kg and Cadmium of 2.13 mg/Kg, the final concentration of lead with sawdust 597.86 mg/Kg, in guinea pig guano of 496.93 mg/Kg and guano island of 153.44 mg/Kg, the final concentration of arsenic with sawdust of 57.85 mg/Kg, with guinea pig guano of 34.25 mg/Kg and with guano island of 8.95 mg/Kg, the concentration of cadmium with sawdust of 1.51 mg/Kg, with guinea pig guano of 1.08 mg/Kg and with guano island of 0.43 mg/Kg. The conclusions were: the species *Phalaris aquatica* with organic amendments significantly influences the decrease in the concentration of heavy metals in the soil.

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, Cadmium, Arsenic, Lead.

Introducción

La investigación presentada acerca de la “Fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín” tuvo como problema general ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?, el objetivo establecido fue Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín y la hipótesis general planteada La fitorremediación con enmiendas orgánicas influye positivamente removiendo el 30% de los metales pesados del Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.

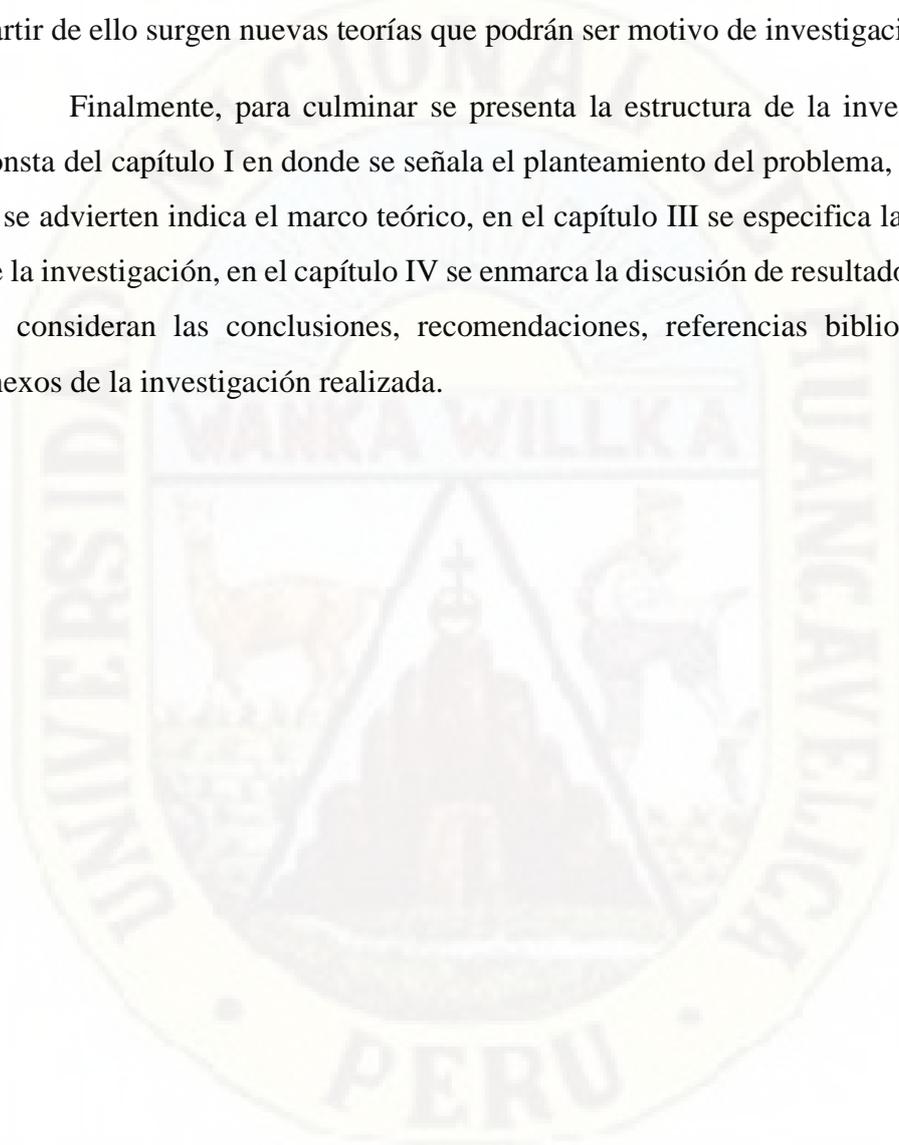
La problemática de la investigación surge a partir de la existencia de suelos contaminados con metales pesados por la minería ya que en el proceso de extracción de minerales el suelo genera la presencia de un alto porcentaje de metales pesados tales como el Plomo, Cadmio, Níquel, Arsénico, Mercurio, entre otros, que debido a su densidad se acumulan en diversos cuerpos y por la toxicidad que presentan en concentraciones determinadas afectan la salud y el ambiente (Rodríguez, McLaughlin, & Pennock, 2019).

Los metales pesados se movilizan por el suelo, agua y aire, y son persistentes por lo que no se puede degradar fácilmente, pero existen diversas tecnologías para la degradación de los contaminantes presentes en los suelos en donde destaca la fitorremediación que se basa en el uso de microorganismos y plantas que son herramientas innovadoras, útiles, y eficaces en la estabilización, acumulación y degradación de los contaminantes (Molina, Aguilar, & Cordovez, 2010).

Se justifica ya que, a la fecha, los suelos contaminados de la zona son infértiles, los metales pesados han contaminado las especies que se desarrollaban en ese entonces, y en algunas zonas del lugar se viene desarrollando una flora muy reducida con una producción de biomasa de especies que lograron resistir o adaptarse a esta contaminación por más de 90 años.

Por ello la alternativa que se propone pretende devolver la capacidad de producir biomasa apta para consumo animal, ya que esta tecnología nueva que muestran resultados alentadores, también brinda nuevos conocimientos sobre el potencial de fitorremediación que posee la especie vegetal a utilizar además que a partir de ello surgen nuevas teorías que podrán ser motivo de investigación.

Finalmente, para culminar se presenta la estructura de la investigación que consta del capítulo I en donde se señala el planteamiento del problema, en el capítulo II se advierten indica el marco teórico, en el capítulo III se especifica la metodología de la investigación, en el capítulo IV se enmarca la discusión de resultados, finalmente se consideran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de la investigación realizada.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas que aqueja a la sociedad actualmente, ya que se observa la pérdida de la calidad de agua, aire, y el suelo en diversos lugares del planeta, estos recursos que son contaminados diariamente son indispensables para la supervivencia de la especie y del ambiente.

La mayoría de los problemas ambientales son generados por la actividad humana ya que en el proceso de la capitalización van descuidando los factores ambientales y su preservación, dentro de estas actividades se encuentra la minería que es uno de los principales factores por el cual se produce la contaminación del suelo, agua y aire debido, a que en el proceso de extracción de minerales se degradan los recursos que se encuentran en el área de influencia directa e indirecta de la zona en cual se lleva a cabo el proceso (Bautista, 1999).

Generalmente en las zonas donde existe el proceso de extracción de minerales, el suelo tiene presencia de un alto porcentaje de metales pesados tales como el Plomo, Cadmio, Níquel, Arsénico, Mercurio, entre otros, que debido a su densidad se acumulan en diversos cuerpos y por la toxicidad que presentan en concentraciones determinadas afectan la salud y el ambiente.

Los metales pesados se movilizan por el suelo, agua y aire, y son persistentes por lo que no se puede degradar fácilmente ya que al entrar en contacto con el ecosistema se transforman por medio de procesos biogeoquímicos, pero en la actualidad se vienen aplicando diversas tecnologías para poder reestablecer las características físicas y químicas de los lugares que se encuentran contaminados con compuestos que alteran las propiedades de los suelos (Cervantes & Moreno, 2007).

Dentro de estas tecnologías para la degradación de los contaminantes presentes en los suelos destaca la fitorremediación que se basa en el uso de microorganismos y plantas que son herramientas innovadoras, útiles, y eficaces en la estabilización, acumulación y degradación de los contaminantes, por lo que se han desarrollado aplicaciones en diversos lugares con presencia de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

A nivel internacional existen evidencias de experiencias exitosas, un claro ejemplo es el de Ortiz (2009), que en su artículo científico titulado “*Fitoextracción de Plomo y Cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas*” en México comprobó que esta especie vegetal era capaz de acumular significativamente ambos contaminantes en sus hojas, tallos y las raíces. De la misma manera existen diversas investigaciones sobre algunas especies vegetales que han sido probadas en otros lugares que tenían presencia de contaminantes los cuales generaron experiencias exitosas en la fitorremediación.

En el Perú se advierten diversos lugares que tienen presencia de contaminantes en los suelos, lo cual hace que estos no puedan producir algún tipo de especie vegetal ya que sus propiedades fisicoquímicas se encuentran alteradas, por lo que la fitorremediación es una de las tecnologías más adaptables a este tipo de condición además de ello generan un impacto positivo en este tipo de problemática.

Aunque sea una tecnología muy innovadora presenta algunas desventajas por lo que su aplicación es mínima, cabe señalar que a nivel nacional la importancia que tiene la descontaminación de los suelos degradados es minúscula, tal es el caso de la localidad de La Oroya, en donde el Complejo Metalúrgico mediante el procesamiento de los minerales ha ido contaminando los suelos del lugar con metales pesados tales como el Plomo, Arsénico y Cadmio en concentraciones elevadas, esto genera un daño significativo al ambiente como a la salud de las personas que viven en el área de influencia.

La disponibilidad de estos metales pesados presentes en el suelo es una problemática significativa dado que estos elementos tienden a propagarse por medio del aire, así como llegar a las aguas superficiales o subterráneas con las que cuenta la zona, además de ello el poco interés que tiene la entidad competente para promover el control y descontaminación del lugar genera una gran preocupación a la población.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?
- ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?
- ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.
- Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.
- Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.

1.4. Justificación

En el Complejo Metalúrgico de La Oroya desde el año 1917 se fundían los concentrados de minerales de todas las unidades mineras de producción tales como Cerro de Pasco, Morococha, Yauricocha, Cobriza, San Cristóbal, Andaychagua, etc, emitiendo gases que contenían altos valores de metales pesados por lo que contaminaron más de 22,000 km², ello persiste hasta la actualidad, ya que se aprecia la degradación de los recursos tanto como el agua, suelo y aire.

A la fecha, los suelos contaminados de la zona son infértiles, ya que los metales pesados han generado que las especies que se desarrollaban hace muchos años desaparezcan, y en algunas zonas del lugar se viene desarrollando

una flora muy reducida con una producción de biomasa de especies que lograron resistir o adaptarse a esta contaminación por más de 90 años.

Teniendo conocimiento que la fitorremediación es una de las alternativas más viables para la remediación de suelos con estas características, se propone realizar una evaluación del desarrollo de la especie *Phalaris aquatica* ya que por su características y capacidad de desarrollo en medios hostiles, nos puede permitir recuperar estos suelos contaminados y poner al alcance de los pobladores áreas recuperadas que les permita volver a vivir de su actividad económica inicial (agricultura y ganadería).

La alternativa que se propone pretende devolver la capacidad de producir biomasa apta para consumo animal, ya que esta tecnología nueva muestra resultados alentadores, también, brinda nuevos conocimientos sobre el potencial de fitorremediación que posee la especie vegetal utilizada, además que a partir de ello surgen nuevas teorías que podrán ser motivo de investigación para la población, así mismo esta investigación se puede aplicar a diversos tipos de suelos para su posible descontaminación.

1.5. Limitaciones

La presente investigación sobre “Influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, no contó con limitaciones significantes que impidan el desarrollo adecuado de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Muntean, et. al (2015), realizaron la investigación sobre la migración de iones metálicos a *Phalaris Arundinacea* con el propósito de la descontaminación del suelo, el objetivo fue la evaluación de la migración de los iones del suelo a la gramínea *Phalaris Arundinacea* para emplearlo en la remediación de suelos contaminados, utilizaron la espectrometría de absorción atómica, para el análisis de la migración de iones metálicos usaron el registro de los espectros EDX, a partir de los análisis de los espectros en el suelo control observaron la presencia de Sodio (I), Potasio (I), Calcio (II), Magnesio (II), Aluminio (III), Si (IV), Fosforo (V), y en el suelo contaminado observaron la presencia de iones de metales pesados como Cromo total, Cobre (II), Zinc (II), Cobalto (II) y Plomo (II), de ello concluye que la gramínea *Phalaris Arundinacea* presenta una buena capacidad de acumulación de los iones metálicos, y la mayor parte de estos se encuentran en la raíz, luego en los tallos y por último en las hojas, así mismo cuando se tiene una menor concentración de iones metálicos en la solución del suelo se produce una adsorción más intensa y a mayor concentración se reduce la velocidad de adsorción.

Rosikon et. al (2015), estudiaron el potencial de fitorremediación de las plantas energéticas seleccionadas (*Miscanthus giganteus L.* y *Phalaris*

arundinacea L.), en dependencia de la fertilización, esta investigación se centró en la influencia de la fertilización en el cultivo de *Miscanthus giganteus L.* y *Phalaris arundinacea L.* en el proceso de fitorremediación de Cadmio, Níquel y Zinc, mediante el uso del nitrógeno como fertilizante en una dosis de 60 kg por hectárea en el *Miscanthus giganteus L.*, y una dosis de 80 kg por hectárea en el *Phalaris arundinacea L.*, a partir del tratamiento la concentración de Cadmio en el *Phalaris arundinacea L.* vario de 0,3365 mg/kg-1 d.m. a 0.0396 mg/kg-1 d.m., en cuanto al contenido del Níquel su variación fue de 0,8566 mg/kg-1 d.m. hasta 3,76 mg/kg-1 d.m., sobre la concentración de Zinc vario desde 30,22 mg/kg-1 d.m. hasta 122,6 mg/kg-1 d.m.; a partir de estos análisis concluyen que *Miscanthus giganteus L.* y el *Phalaris arundinacea L.* absorben el Níquel a un similar grado; en cuanto al Zinc el *Phalaris arundinacea L.* absorbe cuatro veces más en comparación con el *Miscanthus giganteus L.*, así mismo la fertilización modificada tiene un impacto en la calidad de cultivos energéticos de biomasa pero depende del tipo de la planta y del metal pesado a biorremediar.

Zeahnsdorf et. al (2013), realizaron un proceso de biorremediación de sedimentos contaminados con metales pesados, desarrollaron dos etapas centrales las cuales fueron: el acondicionamiento de lodos dragados por medio de las plantas y la biolixiviación en los lechos solidos de metales pesados usando ácido sulfúrico producido microbianamente, los metales encontrados en los sedimentos fueron el Zinc y Cadmio, el área experimental fue de 50 m x 23 m, esta fue llenada con 1400 m³ de lodo, acondicionaron el área con plantas *Phalaris*, la toma de muestras fue cada dos semanas con una duración de 475 días; al finalizar el segundo periodo de vegetación las plantas alcanzaron la altura de 2 m, el contenido de agua se redujo del 68% al 37%, la oxidación de los compuestos transportados por sedimentos redujo el pH de 7.3 a 6, y el contenido de metales pesados se encontraban por debajo de los límites máximos permitidos para Alemania; finalmente concluyen que el alpiste (*Phalaris arundinacea*) es adecuado para el proceso de acondicionamiento.

Connick, et al. (2010), desarrollaron la investigación sobre el contenido de Al, Cu, Fe y Mo en *Phalaris Aquatica* y *Trifolium subterraneum* cultivados en una instalación de almacenamiento de relaves de una mina de oro son enmendar y enmendada en el oeste de Nueva Gales del Sur, Australia; en donde cultivaron las plantas *Phalaris Aquatica* y *Trifolium subterraneum* en un lugar sin una enmienda y con una enmienda de tierra y biosólidos, mediante los análisis de suelo antes y después del tratamiento aplicando ambos tipos de tratamiento con ambas plantas demostraron que el *Trifolium subterraneum* acumula mayores cantidades de metales a diferencia del *Phalaris Aquatica*, así mismo en los suelos sin enmiendas la mayor absorción de los metales se dio en otoño, en conclusión recomiendan que es necesaria la modificación del suelo contaminado con una capa de cobertura vegetal antes de introducir a animales a la zona para el pastoreo con la finalidad de reducir los tóxicos que pueden estar disponibles.

Polechonska y Klink (2014), desarrollaron un estudio sobre el potencial de bioindicación de metales traza y fitorremediación de *Phalaris arundinacea* L. (hierba canaria de caña) en Polonia, cuyo objetivo fue revelar varias habilidades de acumulación de metales traza de diferentes órganos de *Phalaris arundinacea* e investigar su posible uso en el biomonitoreo y fitorremediación de suelos contaminados, recogieron en cada sitio 3 muestras dentro de un cuadrado de 5 m × 5 m. La concentración de metales fue identificada por la espectrofotometría de absorción atómica y el análisis estadístico de las concentraciones fue evaluado por ANOVA. La normalidad de las funciones analizadas se comprobó por Shapiro Wilk; los resultados mostraron las concentraciones encontradas en las muestras de plantas generalmente disminuyeron en el siguiente orden: raíz, hoja y tallo. Limitando la movilidad y la translocación de los metales, una vez absorbida por la caña, por lo que concluye que es una especie interesante para la fitoestabilización de sedimentos de fondo contaminados con metales. Las mayores concentraciones de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) fueron notados en la raíz de *Phalaris arundinacea* L.

2.1.2. A nivel Nacional

Papuico (2018), en su investigación acerca de “Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas”, donde su objetivo general fue determinar la posibilidad de emplear la fitorremediación como técnica para la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai, la metodología que aplicó fue del tipo descriptivo longitudinal, el diseño experimental con una población de 115 hectáreas, la muestra de 9m², obteniendo la concentración de Arsénico en la hoja de 93.8 mg/Kg, en la raíz de 11.1 mg/Kg, la concentración de Cadmio en la hoja de 6.35 mg/Kg y en la raíz de 5.71 mg/Kg, la concentración de plomo en la hoja de 436.25 mg/Kg y en la raíz de 80.47 mg/Kg, concluyendo que la planta Yaluzai es bioacumulador de metales y en mayor proporción de Hierro, Cobre, Plomo y Zinc.

Paiva (2015), en su trabajo de investigación sobre la “Fitorremediación de suelos contaminados con Plomo utilizando *Amaranthus spinosus amaranthaceae* en Cusco”, donde planteó como objetivo evaluar la capacidad de absorción y acumulación de Plomo el cual fue *Amaranthus spinosus* sometido a diferentes concentraciones de suelo contaminado con Plomo, con un diseño experimental en macetas con 4 repeticiones dentro de un invernadero, el análisis estadístico fue realizado mediante el software SPSS, en donde se aplicó el análisis de varianza factorial a través de ANOVA y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey, por lo que quedó demostrado que la especie *Amaranthus spinosus* alcanzó con más intensidad en las raíces con 600 mg/Kg de suelo, finalmente concluye que la especie *Amaranthus spinosus* tiene la capacidad de acumular en sus tejidos Plomo al crecer en suelos contaminados hasta en la más alta concentración no muriendo la planta y demostrando tolerancia al metal.

Callirgos (2014), en su trabajo de investigación titulada “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Chrysopogon zizanioides* en

relaves mineros” con el objetivo de evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* en relaves mineros mediante la adición de enmiendas orgánicas e inorgánicas, realizaron 5 tratamientos bajo condiciones de invernadero en la Universidad Nacional Agraria la Molina llegando a la conclusión de que el *Chrysopogon zizanioides* posee la capacidad de fitorremediación ya que logro reducir el Plomo de 1577mg/kg hasta 1190 mg/kg, un 24% de la concentración inicial de Plomo, concentrándose más en las hojas que en la raíces por lo que se le considera una planta fitorremediadora con la capacidad de acumular Plomo.

Ramírez y Corcuera (2015), realizaron un diagnóstico de la calidad del suelo del área de influencia del Complejo Metalúrgico de La Oroya, en donde buscan determinar el grado de contaminación del suelo en diferentes puntos del lugar, evaluados por medio de monitoreos trimestrales, estos fueron comparados con los ECA's del suelo, los valores más altos de los 3 contaminantes principales fueron el Arsénico que encontraron en la zona de fundición con el valor de 7102.83 mg/kg, el Plomo con el mayor valor de 20421.89 mg/kg; y el Cadmio con un valor de 279.325 mg/kg, estos tres contaminantes fueron identificados como los principales ya que exceden los estándares de calidad ambiental en los diferentes puntos del área de influencia.

2.1.3. A nivel Local

A nivel local no se cuentan con investigaciones referidos a la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.2.1. Fitorremediación con Phalaris

2.2.1.1. Definición de fitorremediación

Inicialmente, este término se usaba para asociar al uso de plantas capaces de bioconcentrar niveles inusuales de metales en sus tejidos, por lo que la fitorremediación comprende los procesos dirigidos a liberar el contaminante de la matriz del suelo y a estabilizarlos en su matriz (Alexander, 1999).

Consiste en la aplicación de técnicas como el uso de plantas y microorganismos asociados a ellas para la biorremediación, también se puede considerar a enmiendas de suelo y técnicas agronómicas dirigidas a liberar, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes presentes en el suelo.

La fitorremediación es el conjunto de métodos usados para degradar, asimilar, detoxificar o metabolizar diferentes tipos de contaminantes usando plantas que tienen la capacidad fisiológica y bioquímica para retener, absorber, transformar o degradar los contaminantes a formas menos tóxicas (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

Hasta la actualidad se han identificado diversas plantas que presentan diferentes grados de eficiencia en la inmovilización o acumulación de sustancias tóxicas, estas han presentado diversos grados de éxito en la remoción de metales pesados y metaloides. La fitorremediación ofrece ventajas como el incremento de la actividad microbiana, aumento del carbono orgánico en el suelo además de cumplir con su función principal que es la reducción de la toxicidad de los contaminantes del suelo.

2.2.1.2. Origen de la fitorremediación

Tiene origen en el siglo XVIII, en donde Joseph Priestley, Karl Scheele y Antoine Lavoisier fueron los primeros en demostrar que en presencia de la luz algunas especies vegetales eran capaces de descontaminar la atmósfera, así mismo en el año 1885, Baumann, encontró altas concentraciones de Zinc en las hojas de diferentes plantas que crecían en diversas partes del ambiente, sin embargo, en los años 70, se demuestra la habilidad que poseen las plantas de remediar suelos y aguas contaminadas, por lo que en los años 90 recién se acepta el término de fitorremediación (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

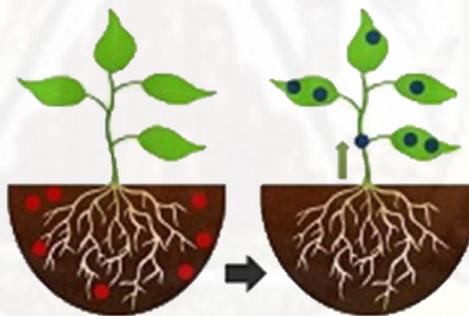
2.2.1.3. *Tipos de fitorremediación*

Conforme a Brutti, et. al (2018), las especies vegetales presentan diversas estrategias para la reducción o depuración de la toxicidad del suelo contaminados, estas se clasifican en:

a. **Fitoextracción**

Se basa en la absorción de los metales contaminantes por medio de las raíces de las plantas, la acumulación de estos se da en el tallo y las hojas; cuando ya se completa el desarrollo vegetativo de las plantas hiperacumuladoras se procede al corte, traslado e incineración, el residuo de este proceso se dispone en un vertedero de seguridad. Esta estrategia se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración de los metales se encuentre dentro de los límites máximos permisibles (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

Figura 1.
Proceso de la fitoextracción

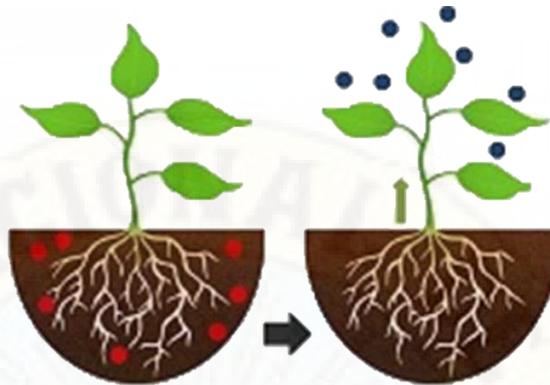


Fuente: (Brutti, Beltrán, & García, 2018)

b. **Fitovolatilización**

La fitovolatilización se produce cuando las plantas absorben el agua conjuntamente con contaminantes ya sea orgánicos e inorgánicos, algunos de los contaminantes al llegar hasta las hojas se evaporan o volatilizan a la atmósfera (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

Figura 2.
Proceso de la fitovolatilización

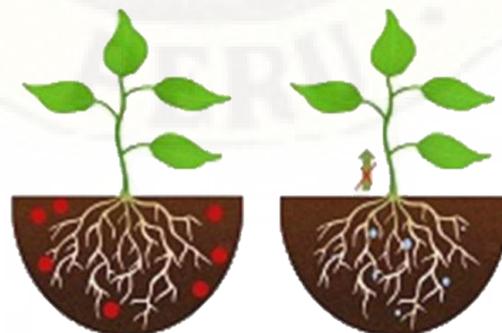


Fuente: (Brutti, Beltrán, & García, 2018)

c. Fitodegradación

Las plantas se asocian con algunos microorganismos para degradar los contaminantes orgánicos en productos menos tóxicos o lo mineralizan hasta convertirlos en agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2); en este proceso las plantas metabolizan los contaminantes en sus tejidos vegetales mediante la producción de enzimas que ayudan en la degradación mediante la catalización, este proceso no se aplica a los metales y metaloides contenidos en los suelos (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

Figura 3.
Proceso de la fitodegradación

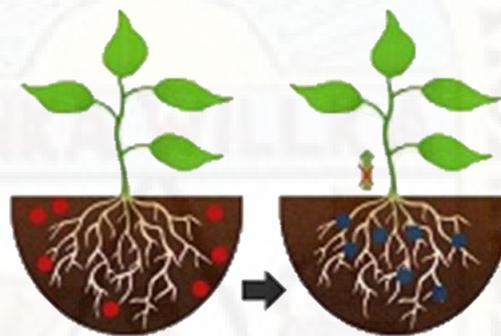


Fuente: (Brutti, Beltrán, & García, 2018)

d. Fitoestabilización

Esta metodología permite la inmovilización de los contaminantes mediante la adsorción, absorción y acumulación ya sea en las raíces o en la rizosfera donde se acumulan los contaminantes de manera inocua, mediante este proceso se reduce la movilidad de los contaminantes y su migración a otros componentes del ambiente (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

Figura 4.
Proceso de la fitoestabilización



Fuente: (Brutti, Beltrán, & García, 2018)

Los tipos de fitorremediación se pueden resumir de la siguiente manera:

Tabla 1.
Resumen de los mecanismos de fitorremediación

Procesos	Mecanismo	Contaminantes
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes que se cosechan (Hiperacumulación en la parte aérea de la planta)	Orgánicos e inorgánicos (Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Níquel, Mercurio, Plomo, Selenio y Zinc).
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire (Complejación, adsorción, adsorción y precipitación en la zona radicular).	Orgánicos e inorgánicos (Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Método Propuesto para compuestos fenólicos y compuestos clorados).

Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración (Volatilización a través de las hojas).	Orgánicos e inorgánicos de bajo peso molecular (Mercurio, selenio y solventes clorados).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos (Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes)	Orgánicos e inorgánicos (Muníciones , TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno, antraceno, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc).

Fuente: (Brutti, Beltrán, & García, 2018)

2.2.1.4. *Principales limitaciones que presenta la fitorremediación*

De acuerdo a Brutti et. al (2018), la fitorremediación se considera como el método menos destructivo para la remediación de los suelos debido a que se emplean diversos organismos naturales lo cual permite preservar el estado natural del ambiente, sin embargo, este tipo de remediación presenta las siguientes limitaciones para su aplicación:

a. Sistema radicular

Se basa en el contacto efectivo de los contaminantes con las raíces de la planta, por lo que este tipo de remediación se limita a la profundidad alcanzada por las raíces de la especie vegetal. Esta limitación se puede eliminar mediante el uso de maquinaria agrícola ya sea el arado o subsolado (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

b. Tasa de crecimiento

Para realizar la fitorremediación se requiere un periodo considerable de tiempo ya sean meses o años por lo que para aquellos lugares en los que se requiere remediar inmediatamente no es una técnica adecuada en comparación con los métodos convencionales los cuales reducen el

riesgo de toxicidad en la salud y los ecosistemas en menor tiempo (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

c. Concentración del contaminante

Aquellos lugares que tienen niveles de contaminación bajos o moderados tienden a tener una fitorremediación óptima, a diferencia de lugares que tienen altas concentraciones de contaminantes los cuales inhiben el crecimiento óptimo de las plantas lo cual limita la aplicación de esta tecnología (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

d. Impactos de la vegetación contaminada

Las plantas que interactúan con los contaminantes del suelo en algunos casos, dependiendo del tipo de fitorremediación requieren un posterior manejo y disposición adecuada, pero en su mayoría no acumulan cantidades significativas en sus estructuras aéreas por lo que no requieren un tratamiento posterior, pero en algunos casos como el de las plantas hiperacumuladoras, estas tienen a extraer y absorber grandes cantidades de metales del suelo por medio de las raíces y lo concentran en sus tejidos por lo que estas especies requieren ser cosechadas y recicladas para evitar el traspaso de los contaminantes mediante la cadena trófica (Brutti, Beltrán, & García, 2018).

2.2.1.5. Definición de *Phalaris*

El pasto *Phalaris* es una planta macollosa, erecta y fuerte, son de forma cilíndrica, se encuentra conformado por una alternancia de nudos y entre nudos, puede obtener la altura de 2.5 metros lo cual va depender de las condiciones que tienen en su ciclo vegetativo. Este tipo de pasto tiene la desventaja de no producir semillas que puedan emplearse para la germinación, esto tiene lugar en la composición cromosómica por lo que su reproducción es por vía asexual o vegetativa (Finot, 2014).

2.2.1.6. *Phalaris Aquatica*

a. Origen

Es una clase de hierba perenne oriunda del noroeste de África y Mediterráneo e Irak, en algunos países como Australia, Sudáfrica, Nueva Zelanda y América del norte y Sur fue cultivada, el primer país que lo cultivo fue Australia en un jardín botánico de Toowooba en el año 1884, a partir de ello empezó su cultivo en diferentes puntos del continente europeo, y americano, hasta la actualidad este cultivo se utiliza como forraje ya que tiene valores nutricionales altos para el ganado (Canals, Peralta, & Zuburi, 2019).

b. Taxonomía

De acuerdo a Finot (2014), la clasificación taxonómica de la *Phalaris Aquatica* es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Angiospermas
- Clase: Lilipisida
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Sub familia: Pooideae
- Tribu: Aveneae
- Género: Phalaris
- Especie: Phalaris aquatica

c. Características botánicas

La *Phalaris Aquatica* es un taxón tetraploide que posee una constitución cromosómica de 28 alelos, la raíz es fibrosa, vigorosa, y rizomática que sale de los nudos inferiores del tallo, por lo que se dice

que posee raíces muy fuertes las cuales se emplean en la conservación de suelos; las hojas poseen formas aciculadas, planas, anchas y persistentes, estas se encuentran formadas la vaina y la lígula, miden de 10 a 50 centímetros de largo, tienen tendencia vertical, presentan un color verde azulado y la inflorescencia se presenta por una espiga espiciforme de 7 a 15 centímetros, por lo que no poseen semillas fértiles, sin embargo poseen tallos desarrollados también denominados macollos que son órganos que realizan la propagación vegetativa (Gavilanes & Marinovich, 1997).

Es una hierba de estación fría, su época de crecimiento es a finales de otoño, todo invierno y primavera, por lo que posee alta adaptabilidad a las diferentes estaciones, es muy persistente y si tiene una gestión adecuada presenta ciertas ventajas tales como: ayuda en el control de malezas, reduce la erosión del suelo, posee persistencia y tolerancia a la sequía, toleran el pastoreo prolongado, a los insectos, a las inundaciones y suelos salinos.

Así mismo, esta especie es una de las que se adaptan fácilmente a las zonas altiplánicas ya que poseen una alta tolerancia a los distintos niveles de temperatura, y distintos estudios han comprobado que se adapta a climas fríos además de ser tolerante a la sequía cuando no existe suficiente agua para su apto desarrollo (Gavilanes & Marinovich, 1997).

d. Adaptabilidad

Phalaris aquatica posee una alta adaptabilidad ya que es capaz de soportar climas fríos que ascienden desde los 5 °C, así mismo tienen un nivel alto de productividad lo cual es una de sus ventajas más destacadas para su aplicación, también algunos estudios demuestran que es tolerante a pH ácidos y tolera altas concentraciones de Aluminio (Al) (Gavilanes & Marinovich, 1997).

e. Valor nutricional

El contenido de proteína de la *Phalaris aquatica*, varía de acuerdo al estado fisiológico, la prefloración se debe encontrar alrededor del 17.53%, floración en 12.20% y maduración de la planta en 9.86%; la mayor calidad y donde se encuentra más concentración de proteína es en el estado de prefloración por lo que es recomendable realizar el corte en esta etapa (Villalobos, 2012).

Tabla 2.
Comparación del valor nutricional del Phalaris

Especie	Materia seca	Proteína cruda
<i>Phalaris arundinacea</i>	17,20	17,77
<i>Rye grass perenne</i>	19	24,25
<i>Phalaris aquatica</i>	23	18
<i>Phalaris tuberosa</i>	21.4	18.5

Fuente: (Villalobos, 2012)

En la tabla se puede identificar los porcentajes de proteína cruda se puede obtener de las cuatro especies adaptables a diferentes temperaturas y estados del suelo.

f. Usos

Este tipo de especie se puede usar como barrera viva en lugares con pendiente pronunciada, para la estabilización de las zanjas y cuencas, de acuerdo a su desarrollo sus raíces estabilizan el suelo, también se usa como especie forrajera ya que tienen un rendimiento de 4 a 5 cortes por año, esto puede ser consumido por animales grandes y pequeños.

También se usa en la rehabilitación de los suelos pasados y que poseen poco drenaje con la finalidad de contener la erosión en el curso de agua, este pasto es longevo por lo que posee temporadas largas de apacentamiento, y gran producción de forraje, este es muy productivo en zonas húmedas y si no se puede aprovechar para pastoreo se puede recolectar como heno.

Posee una alta adaptabilidad a diferentes texturas de suelo, pero tiene una mayor producción en suelos franco y franco arcilloso, ya que poseen mayores porcentajes de humedad y drenaje, es resistente al pisoteo y la carga animal, soporta periodos largos de sequía y producen buena calidad forrajera (Villalobos, 2012).

2.2.1.7. Enmiendas orgánicas

Se definen como productos que aportan materia orgánica al suelo y así mejorar la fertilidad de este, generalmente se clasifica de acuerdo a la materia prima que se utiliza en la elaboración, pero en todos estos se debe encontrara materia orgánica, humedad y extracto húmico total (Infoagro, 2008).

La importancia del abono orgánico radica en que son una fuente bacteriana necesaria para la nutrición de las plantas, también posibilitan la degradación de los nutrientes permitiendo el asimilar mejor el aporte de nutrientes a la planta lo cual ayuda al desarrollo óptimo de la especie vegetal; el abono orgánico no solo aumenta las condiciones nutritivas, sino que mejoran la condición física, mantiene la húmedas e incrementa la absorción del agua (Infoagro, 2008).

2.2.1.7.1. Guano de cuy

El estiércol de cuy incorpora nutrientes al suelo lo que genera una buena producción de las plantas, tienen un proceso de fermentación aeróbica ya que se amontona el estiércol sin compactación lo que estimula el crecimiento de la población bacteriana y la oxidación, los materiales acumulados tienden a experimentar temperaturas de 50 a 60° lo que elimina los microorganismos patógenos (Figueroa, 1996).

La composición química del estiércol de cuy es de 0.70% de nitrógeno, 0.05% de fosforo, 0.31% de potasio y un pH aproximado de 8, generalmente al aplicar el estiércol de cuy para la producción genera la fertilidad del suelo, no produce

contaminación, logra buenos rendimientos, mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Restrepo, 2001).

2.2.1.7.2. Guano de islas

Es uno de los abonos naturales que presenta la mejor calidad debido a su alto contenido de nutrientes, se encuentra compuesto de excrementos de aves, huevos, plumas y restos de aves, este abono experimenta un proceso de fermentación lento lo que genera la conservación de los componentes en estado de sales (AGRORURAL, 2016).

Los principales nutrientes que aporta es el nitrógeno en tres diferentes formas: forma nítrica 0.1%, en la forma orgánica 10 – 12% y en la forma amoniacal 3.5% aproximadamente, pero también se puede clasificar en 3 tipos:

- **Guano de islas rico:** presenta una composición rica en nitrógeno bajo 3 formas, de 9 a 10% orgánica, de 4 a 4.5% de amoniaco y nítrica de 1%, de la misma manera el ácido fosfórico de 8%, de 1 a 2% de contenido de potasa, adicionalmente puede contener cloro al 1.5%, humedad al 20%, pH de 6 a 7, azufre 1.5%, oxido de calcio de 7 a 8% (AGRORURAL, 2016).
- **Guano de islas pobre:** tiene una formación antigua por lo que presenta un alto contenido de ácido fosfórico, pero tienen un bajo contenido de nitrógeno por debido a la volatilización del nitrógeno amoniacal, alto en contenido de potasa, entre sus elementos principales se encuentra el nitrógeno de 1 a 2%, oxido de calcio de 16 al 19%, ácido fosfórico del 16 al 20% (AGRORURAL, 2016).
- **Guano de islas balanceado:** resulta de la combinación de urea con el guano de islas pobre, este proceso se realiza con

la finalidad de obtener un abono compuesto y equilibrado, generalmente posee los siguientes compuestos: nitrógeno de 10 a 12%, potasa al 2%, ácido fosfórico de 9 a 10% (AGRORURAL, 2016).

2.2.1.7.3. Aserrín

Es una especie de polvo que procede de la madera en el asierro, por lo que las propiedades dependen de la composición química de la madera, esta materia orgánica se presta para la combinación de los diversos estiércoles, también es ideal para hacer compostajes (Schuldt, 2008).

La madera generalmente se encuentra compuesta por tres grupos de sustancias que conforman la pared celular en donde se pueden apreciar macromoléculas, ligninas, celulosa y hemicelulosas, otro grupo son las sustancias extraíbles y las sustancias minerales (Schuldt, 2008).

2.2.2. Metales pesados

2.2.2.1. Suelo

Se define como la primera capa la cual se encuentra desde la superficie del terreno hasta una profundidad de 30 cm, se encuentra compuesto de materia orgánica, agua, microorganismos, aire y partículas inorgánicas (Rodríguez J. , 2008).

2.2.2.2. Propiedades del suelo

De acuerdo a lo señalado por Juárez & Rico (2005), el suelo posee tres propiedades específicas que se definen de la siguiente manera:

a. Propiedades físicas

Algunas de estas propiedades se diferencian a simple vista por lo que es fácil identificarlas, dentro de esta clasificación se encuentran:

- Color

El color del suelo depende de los componentes presentes, a partir de los cuales predomina el color, por ejemplo, si el porcentaje de humus es alto el color del suelo es negro, si presenta óxidos el color es rojizo, etc; así mismo el color varía de acuerdo a los horizontes del suelo y a la formación de este (Juarez & Rico, 2005).

- Textura

De acuerdo a la clasificación de los tamaños de las partículas del suelo, se define por la arena, limo y arcilla y los porcentajes que se encuentran presentes en el suelo. Para determinar la textura se realiza el análisis granulométrico, pero también se pueden realizar análisis físicos para la determinación de la textura (Juarez & Rico, 2005).

Tabla 3.
Clasificación del suelo según su textura

Sistema del Departamento de Agricultura de EE.UU.	
Arena muy gruesa	2.00 mm - 1.00 mm
Arena gruesa	1.00 mm - 0.50 mm
Arena Media	0.50 mm - 0.25 mm
Arena fina	0.25 mm - 0.10 mm
Arena muy fina	0.10 mm - 0.05 mm
Limos	0.05 mm - 0.002 mm
Arcilla	Menos de 0.002 mm

Fuente: (Juarez & Rico, 2005)

- Estructura

Es la forma que poseen las partículas del suelo, ya sea de los componentes primarios y los materiales agregados, mediante este estudio se determina los espacios vacíos que existe, por lo general las estructuras principales o que se presentan en la mayoría de suelos son: columnares, granulares, laminares, angulares, bloques y subangulares (Juarez & Rico, 2005).

- Porosidad

Se define como el porcentaje de volumen del suelo que se encuentra ocupado por otros sólidos o espacios donde existen vacíos los cuales se pueden rellenar con oxígeno o agua, para determinar esta propiedad del suelo se realiza la determinación de la densidad aparente y la densidad real (Juarez & Rico, 2005).

- Retención del agua

Se determina mediante la distribución del tamaño de las partículas del suelo, estos datos se usan para la estimación de la curva de retención del agua del suelo, por lo que es necesario conocer el tamaño del poro, y la distribución de los poros en los suelos generalmente arenosos (Juarez & Rico, 2005).

b. Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo son la conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y el pH (Juarez & Rico, 2005), los cuales se definen de la siguiente:

- Conductividad eléctrica

Se define como la cantidad de corriente eléctrica que atraviesa por la solución del suelo, así mismo es proporcional al contenido de las sales ionizadas disueltas en la solución, por lo que su medición permite establecer la factibilidad, viabilidad y el desarrollo de las plantas (Juarez & Rico, 2005).

- Capacidad de intercambio catiónico

Es el proceso por el cual las partículas de suelo adsorben iones y en esta interacción se liberan otros iones en las cantidades equivalentes a la adsorción, todo ello se da en la fase acuosa por lo que para este proceso se establece un equilibrio en la adsorción y la absorción de los nutrientes (Juarez & Rico, 2005).

- pH

Se define como una medida química simple, ya que indica la acidez o alcalinidad del suelo, esta propiedad depende de la concentración del ion H^+ , cuanto más alto sea su concentración mayor será su acidez, así mismo aporta información para determinar el potencial agrícola, predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo, la disponibilidad de los nutrientes (Juarez & Rico, 2005).

c. Propiedades biológicas

Se define como la presencia de los organismos que se desarrolla en el suelo, estos pueden influir notoriamente en la evolución, propiedades físicas y químicas del suelo, uno de los ejemplos más resaltantes son las lombrices ya que estas aumentan la tasa de infiltración, también la actividad microbiana produce la mineralización ya que disminuye la materia orgánica del suelo (Juarez & Rico, 2005).

2.2.2.3. Contaminación del suelo

Se conoce como contaminación del suelo al proceso de degradación de la calidad de superficie terrestre, esta es causada por sustancias químicas que alteran los componentes, físicos, químicos y biológicos de la tierra.

Se da por la presencia de un químico o sustancia la cual se encuentra fuera de sitio o presenta una concentración más alta de lo normal por lo que tiene efectos ante el organismo destinado, existen contaminantes antropogénicos los cuales son más comunes, pero también existen contaminantes naturales los cuales alteran los compuestos naturales del suelo, generalmente la contaminación del suelo no se evalúa visualmente por lo que se convierte en un peligro oculto (Rodríguez J. , 2008, pág. 99).

La contaminación del suelo parte de distintos tipos de actividades como la actividad industrial, minera, generación de residuos sólidos, líquidos urbanos, el uso del suelo y demás, el suelo es un elemento muy susceptible a la contaminación ya que pierde sus propiedades y se comporta como un

filtro en donde se producen los flujos de materia y energía, por lo que mediante ello retiene los contaminantes que se sedimentan o son transportados por el agua (Díaz, 2016, pág. 2).

2.2.2.4. Contaminación del suelo por metales pesados

En el suelo existen diversos elementos que se encuentran en concentraciones bajas, por lo que al adaptarse se hallan biodisponibles, pero algunos elementos en concentraciones altas se vuelven tóxicos para los diversos organismos del suelo, plantas hasta para la salud humana.

Algunos metales denominados oligoelementos son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas y animales, dentro de este grupo se encuentran el Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn).

Algunos metales pesados que no poseen función biológica conocida tienen a acumularse en los organismos vivos por lo que son altamente tóxicos, estos elementos son el Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb) y el Bismuto (Bi). Las rocas ígneas ultra básicas, básicas y ácidas presentan altos contenidos de metales pesados, los metales con altos porcentajes son el Cromo (Cr), el Manganeseo (Mn) y el Níquel (Ni).

La actividad humana incrementa el contenido de los metales pesados en el suelo y la causa de ello son las concentraciones tóxicas, generalmente eso se da por el vertido industrial, de actividades mineras, de la aplicación de plaguicidas y demás; debido a que los metales pesados no son biodegradables su presencia en los ecosistemas provoca diversos efectos.

2.2.2.5. Definición de metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad mayor o igual a 5g/cm^3 cuando se encuentran en forma elemental, presentan números atómicos superiores a 20 a excepción de los metales alcalinotérreos y alcalinos; generalmente este término se emplea para señalar aquellos

elementos que a mayor concentración son más tóxicos para la vida (Covarrubias & Peña, 2017).

2.2.2.6. *Metabolismo de los metales pesados*

Reyes (2016), menciona que existen cinco tipos de vías por las cuales los microorganismos pueden influenciar los metales los cuales son:

- a. Adsorción pasiva, se da mediante la acumulación de los metales independientemente del metabolismo y la adsorción activa que se basa en la acumulación dependiente del metabolismo, por lo que la disposición final del metal depende del destino de la célula.
- b. Transformación mediante el proceso redox o alquilación, algunos metales pueden ser transformados tales como el Hierro (Fe), el Manganeseo (Mn) o el Mercurio (Hg), por lo que la toxicidad y movilidad del metal que es transformado difiere de su forma original.
- c. Algunos microorganismos producen y liberan sustancias tales como sulfuros o compuestos orgánicos los cuales reducen la movilidad de los metales.
- d. Los microorganismos participan de en ciclo del carbono el cual depende de las características y cantidades de la materia orgánica disponible, este proceso influye en la movilidad de los metales ya que se da la unión de estos con la materia orgánica, así mismo los microorganismos modifican el pH y las propiedades del suelo.
- e. La acumulación pasiva se encuentra influenciada por: las propiedades de la superficie del metal sobre la superficie de la célula, y la especificación del metal en la fase acuosa; generalmente los microorganismos que emplean la acumulación pasiva realizan el siguiente proceso: reacción electrostática de los metales para convertirse en centro de agregación con grupos de la superficie lo cual alcanza en algunos casos el peso de la célula y ello causa que esta se precipite.

Algunos de los metales que pueden ser absorbidos son: Mercurio (II), Cadmio (II), Zinc (II), Plomo (II), Cobre (II), Níquel (II), Hierro (II), Calcio (II), Cromo (VI), Manganeseo (II), Talio (I) y Plata (I) por microorganismos como *Escherichia coli*, *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*, etc.

El pH es uno de los factores más influyentes del medio ya que de esta depende la concentración del metal, generalmente la dependencia del pH por los aniones es diferente al de los cationes.

2.2.2.7. Características de los metales pesados

Algunos de los metales pesados que poseen mayor disponibilidad en el ambiente son el Plomo, Arsénico y Cadmio, los cuales se definen así:

a. Plomo

Es un elemento químico que pertenece al grupo IV-A de la tabla periódica, posee número atómico 82 y 207.19 g mol es su peso atómico, sus características principales son: metal blanco azulado, brillante, denso, dúctil y maleable, resistente a la corrosión y bajo conductor de la electricidad, posee carácter calcofílico por lo que se asocia fácilmente a sulfuros. En el medio ambiente se encuentra como Pb(II) pero presenta dos estados de oxidación, Pb(IV) y Pb(II), este último es estable en medios acuosos, al aumentar el pH tiende a hidrolizarse (Cervantes & Moreno, 2007).

Este metal está distribuido ampliamente en el ambiente, su concentración es de 16 mkg^{-1} , y tiene el puesto 34 de abundancia a nivel ambiental, el Plomo principal es la galena (PbS), también aparece en depósitos de Cadmio y Zinc.

Su presencia en el suelo puede ser de origen natural ya sea por meteorización de la roca madre, varía de acuerdo a las rocas que componen el suelo, donde por lo general las rocas sedimentarias son las que posee mayor concentración de Plomo y por la actividad humana,

ya que los diversos procesos de extracción, minería, industria, prácticas agrícolas, y demás, generalmente son los que provocan la contaminación, esta acumulación se transporta atmosféricamente por lo que es la principal fuente de difusión (Cervantes & Moreno, 2007).

El Plomo no se degrada, por lo que cuando se libera al aire se moviliza en grandes distancias hasta que se deposite en el suelo, este a su vez se adhiere a las partículas que componen el suelo, y su movilización al agua subterránea dependerá del compuesto del Plomo, así como de las características del suelo.

b. Arsénico

Pertenece al grupo V-A de la tabla periódica, tiene un peso atómico de 74.92g mol^{-1} , y su número atómico es 33, es considerado un metaloide debido a sus propiedades intermedias entre metales y no metales, generalmente forma más aniones que cationes, posee una amplia distribución por lo que es fácil encontrarlo en el ambiente, su concentración normal varía de 0.5 mg/kg^{-1} a 2.5 mg/kg^{-1} .

Constituye al menos 300 minerales, y aproximadamente el 60% son arseniatos, se puede encontrar en diferentes depósitos minerales, generalmente en donde se incluye la mineralización de sulfuros, los compuestos de sulfuros más fáciles de encontrar son la arsenopirita y la pirita.

El Arsénico tiene origen natural y antropogénico, y la meteorización de las rocas y las erupciones volcánicas son las dos fuentes naturales para su existencia, este elemento se encuentra presente en el suelo con menor concentración en suelos arenosos y mayor concentración en suelos orgánicos; el origen antropogénico se debe a las actividades humanas tales como la minería, industria, y prácticas agrícolas (Bautista, 1999).

Los compuestos de Arsénico presentan alta toxicidad a niveles bajos, uno de los principales compuestos arsenicales tóxicos es el gas arsina,

y de acuerdo a los estados de oxidación el más toxico es el As (V) a diferencia del As(III).

c. Cadmio

Pertenece al grupo de los metales de transición, con número atómico 48, su densidad es de 8.642 g/cm³, es un metal blanco, maleable, dúctil, brillante y resistente a la corrosión. Cuando se encuentra en estado gaseoso se oxida rápidamente y es aquí donde se produce el óxido de Cadmio.

Este metal puede encontrarse en las rocas con concentraciones de 0.3 mg/kg, y en los suelos varía desde 0.07 mg/kg a 11 mg/kg, en suelos alcalinos no posee movilidad debido a que los fosfatos y carbonatos presentan baja solubilidad.

Forma parte de la corteza terrestre, pero no es común hallarlo en el ambiente de forma natural, generalmente se encuentra asociado con el Zinc, Azufre, carbono, formando la esfalerita, otavita, y monteponita. La actividad volcánica genera altos niveles de Cadmio en la atmosfera, así mismo la actividad antropogénica genera niveles significativos en la extracción de los elementos como Plomo, Cobre o Zinc (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005).

Este elemento es usado mayormente para la fabricación de baterías, en pigmentos para pinturas, revestimientos y recubrimientos, el Cadmio puede encontrarse en altas concentraciones en suelos donde se realizan procesos industriales o en zonas de vertidos de residuos peligrosos. Debido a que es un metal que se acumula fácilmente, presenta diversos efectos tóxicos para los organismos en concentraciones pequeñas, por lo que al cuerpo humano puede ingresar por vía oral o inhalación.

2.2.2.8. Dinámica de los metales pesados en el suelo

De acuerdo a lo señalado por Ross (1994), los metales pesados siguen un curso dinámico, por lo que se puede clasificar cuatro vías:

- a. Transferencia a la atmosfera mediante la volatilización.
- b. Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- c. Retención de los metales pesados en solución o por adsorción.
- d. Absorción por plantas mediante incorporación a las cadenas tróficas.

2.2.2.9. *Translocación de los metales pesados*

Existen cinco tipos de translocación de los metales pesados a diferentes organismos (Ross, 1994):

a. Absorción y translocación de metales pesados en las plantas

Con el paso de los años las plantas se adaptan y desarrollan mecanismos específicos para la absorción, translocación y acumulación de nutrientes, pero existen algunos elementos que no son imprescindibles para la planta por lo que son acumulados en algunas partes de esta.

La absorción foliar también es uno de los mecanismos por donde ingresa las sustancias toxicas a las plantas, se da mediante la fase de penetración cuticular y el metabolismo de acumulación de los elementos.

Las plantas tienen la capacidad de acumular metales en los diferentes tejidos que posee, estas plantas son denominadas hiperacumuladoras, estas se adaptan a suelos que poseen metales ya sean naturalmente o antropicamente. Las plantas hiperacumuladoras poseen poca biomasa ya que emplean más energía para poder adaptarse a las altas concentraciones de metales en los tejidos, esta capacidad varía de acuerdo a la especie vegetal y a la naturaleza del contaminante.

b. Bioacumulación y biomagnificación de los metales pesados

Los metales pesados se consideran peligrosos porque tienen a acumularse en los organismos por lo que al ser consumidos en

cantidades reducidas durante largos periodos llegan a alcanzar niveles tóxicos a este proceso se le denomina bioacumulación.

La biomagnificación se basa en el efecto multiplicador de la bioacumulación, este se da por la acumulación excesiva de los contaminantes que tienen cada uno de sus alimentos. Tanto la bioacumulación como la biomagnificación no presentan síntomas de advertencia por lo que cuando existe concentraciones de contaminantes elevados en el organismo estas son difíciles o imposibles de tratar.

2.3. Bases conceptuales

a. Fitorremediación

Se define como una ecotecnología que se centra en la remediación con plantas debido a que estas son capaces de tolerar, absorber, degradar o acumular contaminantes en sus tejidos, en la actualidad esta tecnología se viene aplicando en diversos países para recuperar suelos contaminados con compuestos orgánicos e inorgánicos (Delgadillo, Gonzáles, & Prieto, 2011).

b. Metales pesados

Es un grupo de elementos químicos que son componentes de la corteza terrestre, algunos de estos son esenciales para mantener el metabolismo sin embargo en altas concentraciones son tóxicos, su peligrosidad se debe a que tienden a acumularse en organismos vivos en un cierto plazo, ya que presentan densidad alta, generalmente se propagan por el agua, suelo y aire (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002).

2.4. Definición de términos

- a) **Arsénico**. Posee una densidad de 5.72, su número atómico es 33, y el estado de oxidación es +3, presenta tres tipos de alótropos que se obtienen por medio de la condensación, así mismo se le encuentra de forma natural

como mineral de cobalto y en las superficies de rocas combinado con metales como el estaño, níquel, hierro, y magnesio (Bautista, 1999).

- b) **Biorremediación.** Se define como el proceso tecnológico en el cual se emplean microorganismos, hongos, plantas o una combinación de estas especies con la finalidad de recuperar el medio el cual se encuentra alterado por diversos contaminantes (Brutti, Beltrán, & García, 2018).
- c) **Cadmio.** Elemento químico con número atómico de 48, su densidad es de 8.65, y su estado de oxidación es +2, es considera como un elemento raro y se encuentra relacionado con el zinc, es blando, maleable y duro, generalmente no se encuentra en estado libre en la naturaleza, por lo general es absorbido por la materia orgánica del suelo (Eweis, Ergas, Chang, & Shroeder, 1999).
- d) **Hiperacumulación.** Capacidad que poseen algunas plantas para poder concentrar altas cantidades de metales en sus tejidos sin presentar toxicidad, estas especies vegetales desarrollaron mecanismos tolerantes hacia los metales por lo que esta particularidad las hace útiles para la remediación (Brutti, Beltrán, & García, 2018).
- e) **Fitorremediación.** Se basa en la utilización de especies vegetales para la descontaminación de los suelos y aguas que tienen presencia de sustancias que alteran el estado natural del componente ambiental (Brutti, Beltrán, & García, 2018).
- f) **Metales pesados.** Son un grupo de elementos químicos que tienen una densidad alta, por lo general en concentraciones altas son tóxicos para el ambiente y la salud humana, y entre los metales pesados que más destacan se encuentran el Plomo, Mercurio, Cobre, Cromo y Níquel (Bautista, 1999).
- g) **Phalaris aquatica.** También conocida como alpiste, es una planta herbácea del género Phalaris y la familia poáceas, generalmente crece hasta los 100 centímetros, es tuberosa, vigorosa y cespitosa, se adapta a la gran

variedad de suelos, pero en suelos pobres y pesados su desarrollo es lento por lo que requiere fertilización, generalmente está destinada al forraje (Finot, 2014).

- h) **Plomo.** Forma parte de uno de los elementos que compone el grupo de los metales pesados, posee una densidad de 11.4, número atómico de 82, y estado de oxidación de +2. Rara vez se encuentra en su estado natural, generalmente se encuentra en compuestos tales como galeana, sulfuro; estos son tóxicos y producen envenenamiento en altas concentraciones (Brutti, Beltrán, & García, 2018).
- i) **Suelo.** Capa superior de la superficie terrestre que se encuentra compuesta por sólidos, líquidos y gases, presentan propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo que generalmente un suelo ideal se encuentra compuesto por minerales, materia orgánica, sólidos, circulación del agua y aire (Ministerio del Ambiente, 2014).
- j) **Suelo contaminado.** Aquel suelo que presenta características físicas y químicas variadas negativamente, generalmente es a causa de presencia de sustancias químicas depositadas por la actividad humana, este suelo representa un riesgo potencial para el ambiente y la salud de la población cercana (Ministerio del Ambiente, 2014).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

La fitorremediación con enmiendas orgánicas influye significativamente disminuyendo la concentración de los metales pesados en el suelo del Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, en un 30%.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva.
- La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva.
- La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva.

2.6. Variables

- Fitorremediación
- Metales pesados

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 4.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Fitorremediación	Ecotecnología que se centra en la remediación con plantas por medio de tolerar, absorber, degradar o acumular contaminantes en sus tejidos (Delgadillo, Gonzáles, & Prieto, 2011).	Se determinó el tipo de fitorremediación que realiza la <i>Phalaris aquatica</i> , y cómo interactúan con la concentración de los tres metales pesados que existe en el lugar.	Phalaris Aquatica	Crecimiento de hojas	cm	Centímetro
				Absorción de metales en la raíz	mg/Kg	Ensayo de laboratorio
				Absorción de metales en las hojas	mg/Kg	Ensayo de laboratorio
			Enmiendas orgánicas	Guano de Cuy	gr	Balanza
				Guano de Isla	gr	Balanza
A serrín	gr	Balanza				
Metales pesados	Es un grupo de elementos químicos que son componentes de la corteza terrestre, en altas concentraciones son tóxicos, su peligrosidad se debe a que tienden a acumularse en organismos vivos en un cierto plazo, ya que presentan densidad alta, generalmente se propagan por el agua, suelo y aire (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002)	Se encontró determinado por los parámetros químicos del suelo antes y después del tratamiento con la <i>Phalaris aquatica</i> .	Parámetros químicos	Concentración de Plomo	mg/Kg	Espectrofotómetro de absorción atómica
				Concentración de Arsénico	mg/Kg	Espectrofotómetro de absorción atómica
				Concentración de Cadmio	mg/Kg	Espectrofotómetro de absorción atómica

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

El proyecto se realizó a partir del mes de abril del 2021 hasta diciembre del 2021, considerando la etapa en campo y gabinete.

3.1.2. Ámbito espacial

El estudio se realizó en el área de influencia del Complejo Metalúrgico de La Oroya, que se encuentra en el distrito de La Oroya, provincia de Yauli, región de Junín, la altura media es de 3735 m.s.n.m.

3.2. Tipo de investigación

Para Borja (2012), la investigación de tipo aplicada “se define como el estudio que se lleva a cabo teniendo un problema definido y de interés, por lo general este tipo de investigación se emplea para responder preguntas específicas” (p.27). La investigación aplicada en términos científicos tiene la finalidad de representar ciertas partes de la realidad lo cual depende de factores para poder realizar una evaluación representativa.

El tipo de investigación fue aplicada ya que se enfocó la atención sobre la solución del problema a partir de la formulación de teorías, así mismo esta investigación se realizó con el fin de conocer para establecer soluciones.

3.3. Nivel de investigación

La investigación explicativa de acuerdo a Valderrama (2002), se centra en la descripción de conceptos, se identifica mediante las respuestas de las causas de los fenómenos, básicamente se centra en explicar el porqué de cada suceso y las condiciones en las que sucede, así como la relación entre variables para que dicho fenómeno ocurra, busca establecer la relación causa y efecto. Presenta una estructura más amplia ya que se aplican pre pruebas y post pruebas en la investigación.

Mediante este nivel de investigación se buscó identificar como la especie vegetal *Phalaris aquatica* mediante enmiendas orgánicas ayuda en la fitorremediación del suelo contaminados con diversos metales pesados, por lo que se tiene una explicación muy detallada del proceso que se llevó a cabo en la experimentación.

3.4. Método de investigación

3.4.1. Método general

El método científico es un procedimiento a seguir, para responder las preguntas que se plantean en una investigación y buscar una solución a través del uso de técnicas e instrumentos, del mismo modo es usado para plantearse problemas científicos y probar las hipótesis en la investigación (Borja, 2012, pág. 8).

La investigación desarrollada empleó el método científico, ya que para desarrollarse se hizo uso de los procedimientos propios de este método los cuales fueron: identificación del problema, objetivo de investigación, planteamiento de hipótesis, interpretación de resultados y conclusiones.

3.4.2. Método específico

El método cuantitativo permite conocer la realidad de los casos mediante la recolección de información o datos para su posterior análisis, este

método de investigación se basa en la cuantificación del caso que estudia **Fuente especificada no válida..**

Mediante la aplicación de este método se pudo manifestar que las variables son cuantificables al convertirlas en valores numéricos y obtener resultados, ya que todas las etapas por las que cruza una investigación con este método mantienen un orden riguroso en tanto todo ese esquema clarifica las relaciones entre ambas variables, formando una estructura ordenada para llegar a un buen resultado.

3.5. Diseño de investigación

La investigación pre experimental según Borja (2012), se basa en las investigaciones que tienen una sola medición por lo que no se tiene grupo de comparación, no se tiene una manipulación de la variable identificada y tampoco se tiene grupo de control. En el diseño pre experimental que se muestra a continuación se tuvo la recolección de datos en un solo tiempo y momento dado, y los registros que se obtienen a partir de este diseño son de carácter pasivo.

GE: 0₁ X 0₂

Donde:

GE: Grupo experimental

01: Pre test

02: Post test

X: Manipulación de la variable dependiente

En la investigación se realizó la siembra de la especie vegetal con tres variaciones de enmiendas orgánicas donde como primer tratamiento se tuvo guano de cuy, el segundo tratamiento fue aserrín y el tercer tratamiento guano de isla.

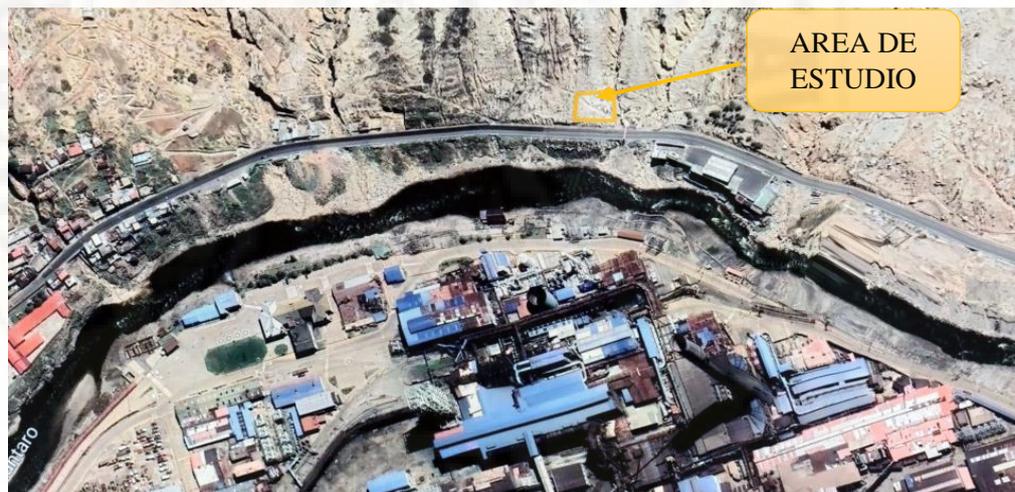
3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población en la investigación se define como un grupo total de elementos, individuos u objetos que tienen características en común y están presentes dentro de un área o lugar determinado, pueden ser seleccionados bajo criterios de homogeneidad, tiempo, espacio y cantidad de la población.

La población de la investigación realizada fue un área de estudio de aproximadamente 105 m², ubicado al frente del complejo metalúrgico de La Oroya, ubicado en el distrito de La Oroya, provincia de Yauli, provincia y departamento de Junín.

Figura 5.
Población de la investigación



3.6.2. Muestra

Es una fracción, parte o subconjunto de la población, esta debe ser representativa dado que de acuerdo a la cantidad de datos obtenidos los resultados pueden reducir su porcentaje de error o aumentar su grado de confiabilidad (Niño, 2011).

La muestra para el análisis de los metales pesados estuvo conformada por 6 puntos de muestreo de los cuales se recolecto las muestras de suelo, tanto para la evaluación de la concentración de metales pesados iniciales y finales, así como para el tejido vegetal y raíz de las plantas cultivadas en el área de estudio.

Tabla 5.
Puntos de muestreo de suelos

PUNTOS DE ESTUDIO		
Puntos	Este	Norte
P1	115242.5	75895461
P2	115241.8	75895303
P3	115242.9	75895331
P4	115243.3	75895423
P5	115243.6	75895293
P6	115244.1	75895381

Figura 6.
Esquemización de la muestra para el análisis de metales pesados



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico por conveniencia según Bernal (2010), “es un método para la obtención de la muestra la cual está definida por el investigador ya que va a depender del criterio que utilice para elegir los

elementos que desea analizar siguiendo ciertos parámetros para la selección de dichos elementos”.

Para la presente investigación se aplicó el muestreo no probabilístico por conveniencia para realizar el análisis de la concentración de metales pesados tanto en el suelo, como en la raíz y hojas de la especie *Phalaris aquatica*.

3.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.7.1. Técnicas

De acuerdo a Borja (2012), “la técnica de la observación es un elemento fundamental en todo proceso de investigación, ya que se realiza el uso de los sentidos en la búsqueda de datos que se requieren para la resolución de un problema de investigación” (p.35).

La técnica de la observación nos permitió identificar el avance que se tiene en la adaptación, crecimiento y desarrollo de las especies vegetales que se instalaron en el área de estudio, así mismo contribuyó con los análisis cualitativos y cuantitativos del suelo tales como estructura, pH, entre otros.

De acuerdo al Ministerio del Ambiente, en la guía para muestreo de suelos, (2014) “el muestreo para las muestras superficiales se realiza para el análisis de las sustancias contaminantes, en donde se ejecuta la evaluación de las características y propiedades de los suelos” (p.32), por lo general se emplean calicatas las cuales se realizan en un suelo de superficie suave en la profundidad de un rango de 0 a 60 centímetros.

Para el muestreo se aplicó las muestras superficiales ya que se desea identificar la contaminación del suelo, a partir de ellos se identificaron cada una de las propiedades del suelo y como estas se encuentran afectadas por la contaminación de los metales pesados.

3.7.2. Instrumentos

La ficha de observación según Lerma (2012), es un instrumento apropiado para la técnica de la observación ya que en este instrumento el investigador podrá realizar la recolección de datos necesarios que están establecidos en la ficha de conservación, por lo general la ficha de observación está elaborada de acuerdo al tema que se va evaluar por ello posee los ítems apropiados para recolectar datos específicos de la investigación.

Mediante la aplicación de la ficha de observación se recolectó y almacenó la información específica de los datos de campo como la altura de la planta, el crecimiento de las raíces, y demás.

Así mismo, el trabajo de campo es muy empleado en las investigaciones a nivel de ingeniería ya que se puede estar en contacto con el lugar de los hechos; este trabajo nos permite recolectar información detallada y necesaria para el investigador.

El trabajo de campo que se realizó tuvo que ver con el estudio de la mecánica del suelo, teniendo así los siguientes procedimientos:

- Se estableció los puntos para el muestreo de suelo.
- Se realizaron las calicatas de aproximadamente 50 centímetros a fin de obtener muestras óptimas para el análisis correspondiente.
- Se extrajeron las muestras realizando el procedimiento adecuado.
- Se etiquetaron las muestras para luego llevarlas al laboratorio especializado en estudios de suelo.

3.8. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Conforme a lo señalado por Valderrama (2002), existen dos tipos de análisis para el procesamiento de los datos obtenidos de una investigación:

El análisis descriptivo que se basa en el procesamiento de los datos que se obtienen a partir de los instrumentos aplicados en el campo, estos resultados

generalmente se plasman en forma de gráficos (histogramas), y en tablas de frecuencia, esta técnica se utiliza con la finalidad de dar un mejor enfoque a los resultados y mediante ello generar una mejor comprensión del lector.

El análisis inferencial, se emplea para comprobar si las hipótesis establecidas inicialmente en la investigación son verdaderas o falsas, generalmente estos datos parten del análisis descriptivo, aunque de acuerdo al nivel y tipo de investigación se puede tener claro qué tipo de análisis inferencial se va a realizar.

En la investigación se realizó el análisis descriptivo en el software Minitab 19, ya que tiene las bondades de un procesamiento estadístico rápido, sencillo y fácil, los resultados de este software se obtuvieron en forma de tablas y figuras los cuales se plasmaron en el informe final con previa descripción e interpretación.

De la misma manera, para el análisis inferencial se empleó el software Minitab 19, por lo que a partir de los datos ya cargados se realizaron las pruebas de normalidad, después de ello se identificó el estadístico a emplear para finalmente identificar si se acepta o rechaza la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Los resultados de la investigación se muestran en las siguientes tablas y figuras y se desarrollaron acorde con los objetivos de la investigación realizada sobre la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.

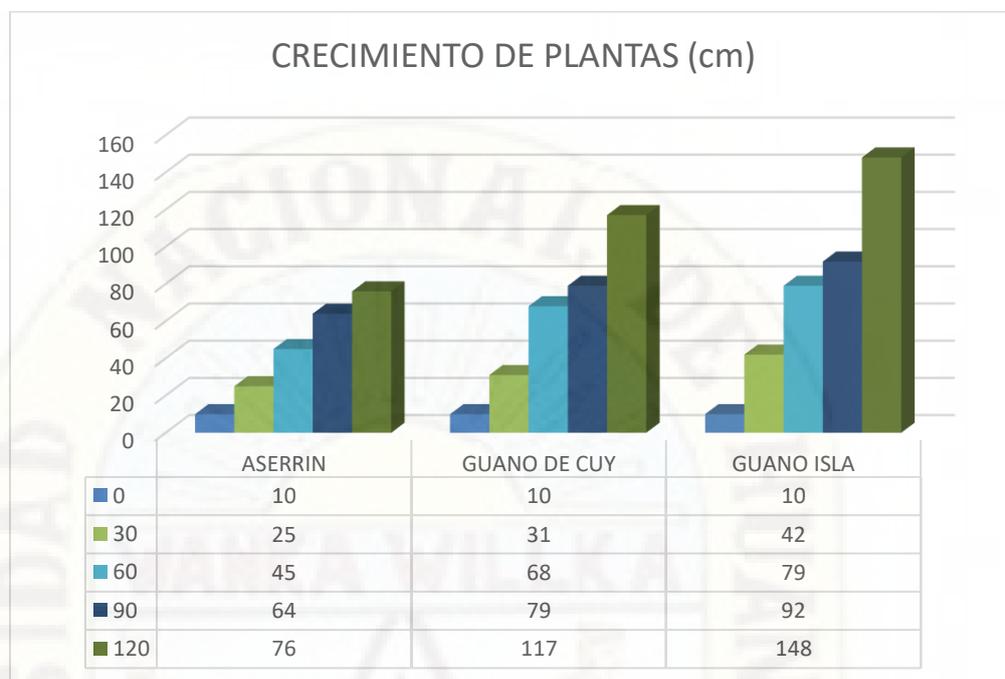
4.1.1. Resultados del crecimiento de las plantas

En cuanto al crecimiento de las plantas, se evaluaron de forma mensual lo cual se muestra en la siguiente tabla y figura:

Tabla 6.
Crecimiento de plantas en función a los días

CRECIMIENTO DE PLANTAS			
Días	Aserrín	Guano de cuy	Guano isla
0	10	10	10
30	25	31	42
60	45	68	79
90	64	79	92
120	76	117	148

Figura 7.
Niveles de crecimiento de las plantas según el tipo de enmienda



Interpretación:

Como se aprecia en la tabla sobre el crecimiento de la especie *Phalaris Aquatica*, fue sembrada con un promedio de 10 centímetros de alto para cada uno de los tratamientos, se realizó el control de crecimiento cada 30 días por 4 meses, obteniendo un crecimiento final de 76 cm para la especie con aserrín, 117 cm de altura con la enmienda guano de cuy y 148 cm para la especie *Phalaris aquatica* con la enmienda guano isla.

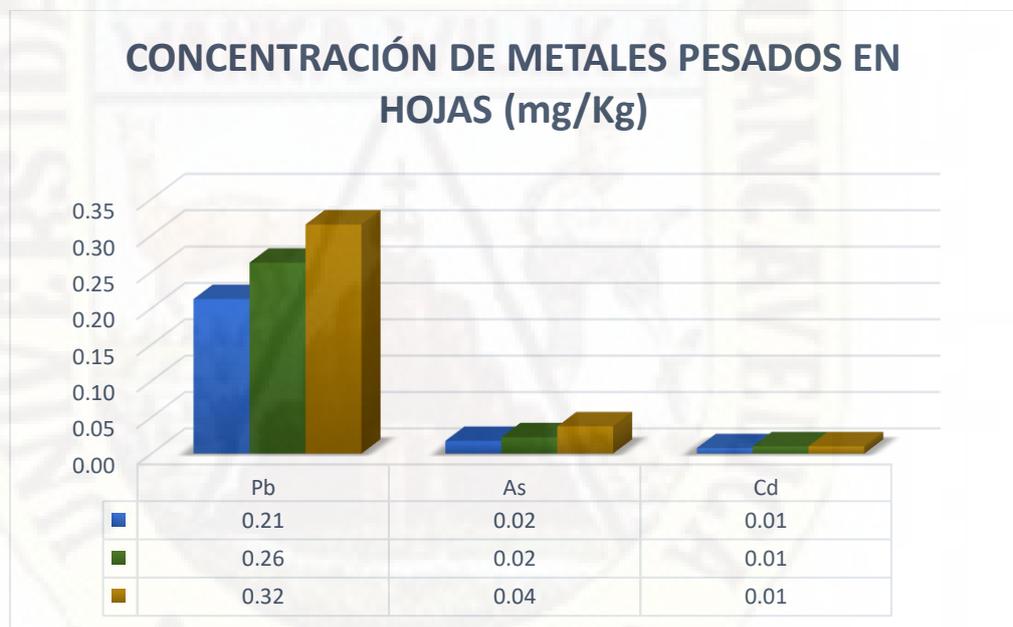
4.1.2. Resultados de la concentración de metales pesados en las hojas

En la evaluación de la concentración de los metales pesados tanto en las hojas, se muestra la siguiente tabla y figura con los valores promedios de la concentración en relación con la enmienda orgánica aplicada en el tratamiento:

Tabla 7.
Concentración de metales pesados en hojas de *Phalaris aquatica*

Tipo de enmienda	Análisis	HOJAS		
		Plomo	Arsénico	Cadmio
Aserrín	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	0.32	0.04	0.01
Guano de cuy	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	0.26	0.02	0.01
Guano isla	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	0.21	0.02	0.01

Figura 8.
Promedio de concentración de metales pesados en hojas



Interpretación:

Como se muestra en la tabla y figura sobre la concentración de metales pesados en las hojas de la especie *Phalaris aquatica*, antes de ser instalada en la zona de estudio obtuvo valores promedio de 0.00 mg/Kg para cada uno de los metales pesados en evaluación, luego del tratamiento con la especie se evidencia que existe mayor concentración en plomo con un valor de 0.32 mg/Kg, a diferencia del Arsénico con un porcentaje mayor de 0.04 mg/Kg y Cadmio con un valor promedio de 0.01 mg/Kg.

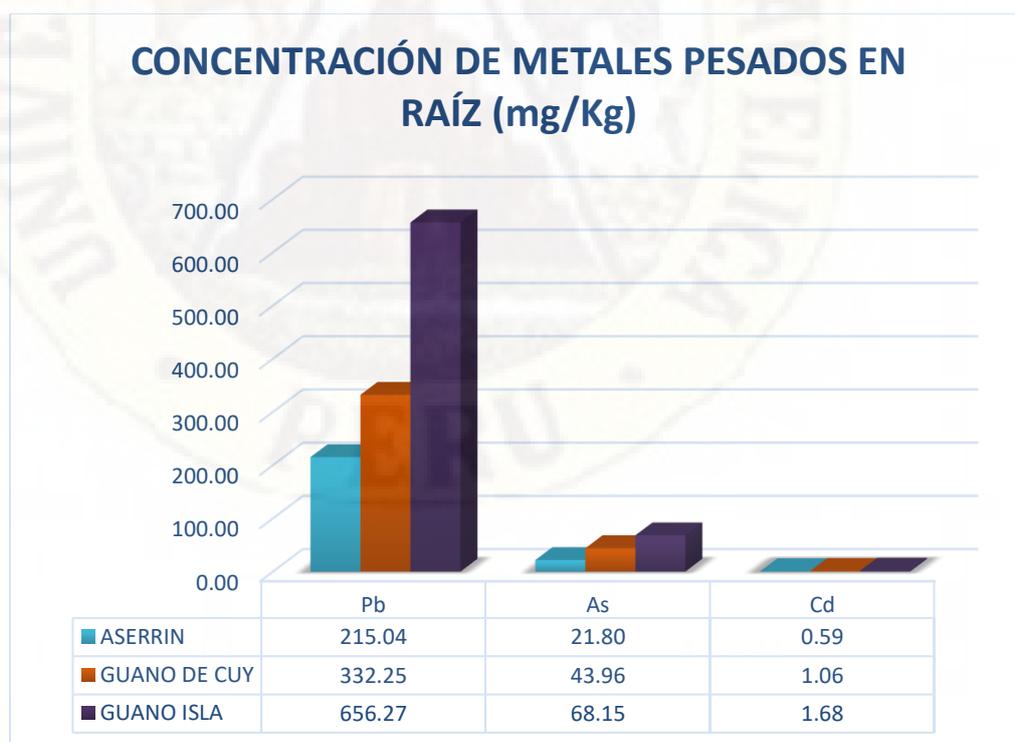
4.1.3. Resultados de la concentración de metales pesados en la raíz

A continuación, se aprecia la tabla y figura sobre la concentración de los metales pesados en la raíz de la planta *Phalaris aquatica* en función a las enmiendas orgánicas empleadas en la investigación:

Tabla 8.
Concentración de metales pesados en raíz de la especie *Phalaris aquatica*

Tipo de enmienda	Análisis	RAÍZ		
		Plomo	Arsénico	Cadmio
Aserrín	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	215.04	21.80	0.59
Guano de cuy	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	332.25	43.96	1.06
Guano isla	Pre Test	0.00	0.00	0.00
	Post Test	656.27	68.15	1.68

Figura 9.
Promedio de concentración de metales pesados en raíz



Interpretación:

En cuanto a la concentración de metales pesados en la raíz, como se aprecia en la tabla y figura la concentración inicial fue de 0.00 mg/Kg, pero en cuanto a la concentración final se evidencia valores altos de concentración en la raíz especialmente en plomo con un valor máximo de 656.27 mg/Kg con la enmienda orgánica guano isla, el valor medio de 332.25 mg/Kg con el guano de cuy, un valor mínimo pero significativo de 215.04 mg/Kg con la enmienda aserrín.

Así mismo se aprecia que para la concentración de Arsénico un valor mínimo de concentración de 21.80 mg/Kg con el aserrín y un valor máximo de 68.15 mg/Kg con el guano isla, finalmente la concentración de Cadmio en la raíz con un valor mínimo promedio de 0.59 mg/Kg con la enmienda aserrín y 1.68 con el guano isla.

Finalmente se puede indicar que la especie *Phalaris aquatica* realiza la fitorremediación por medio del proceso de fitoestabilización conteniendo la mayoría de los metales pesados en sus raíces.

4.1.3.1. Resultados de la concentración de plomo en la raíz

Los resultados sobre la concentración de plomo en la raíz de la planta *Phalaris aquatica* en función a las enmiendas orgánicas se muestra a continuación:

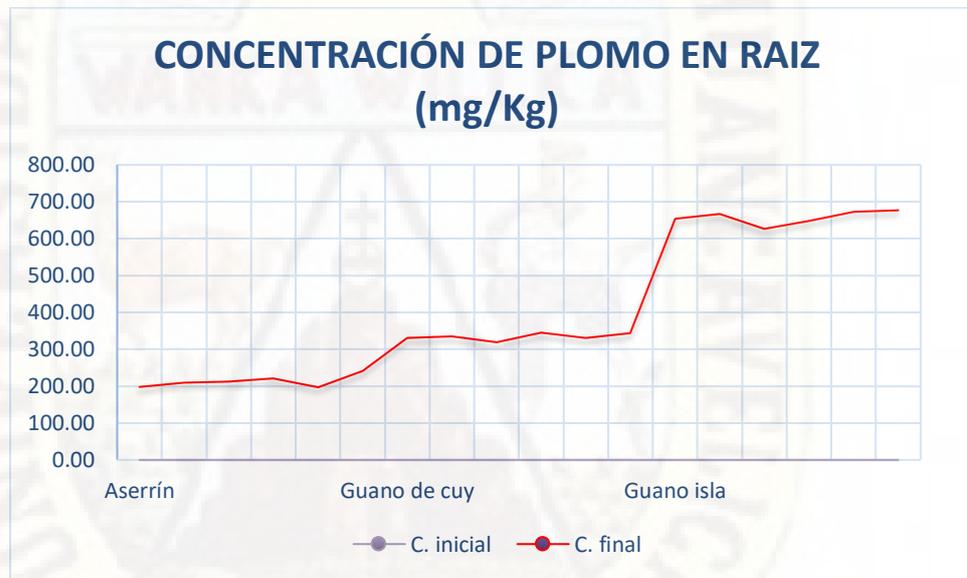
Tabla 9.
Concentración de plomo en raíz de la especie Phalaris aquatica

CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LA RAÍZ				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	0.00	mg/Kg	197.76	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	208.95	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	212.68	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	221.51	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	196.88	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	240.77	mg/Kg
Guano de cuy	0.00	mg/Kg	330.83	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	335.34	mg/Kg

	0.00	mg/Kg	319.02	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	345.25	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	330.10	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	343.82	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	654.54	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	666.54	mg/Kg
Guano	0.00	mg/Kg	627.13	mg/Kg
isla	0.00	mg/Kg	648.31	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	672.05	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	676.87	mg/Kg

Figura 10.

Promedio de concentración de Plomo en la raíz.



Interpretación:

Como se aprecia en la tabla y figura sobre la concentración de plomo en la raíz de la especie *Phalaris aquatica* de acuerdo a las enmiendas orgánicas aplicadas en el estudio, en la concentración inicial se obtuvo un valor promedio de 0.00 mg/kg en general, en la enmienda aserrín un valor mínimo de 196.88 mg/Kg y un valor máximo de 240.77 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo un valor mínimo de 319.02 mg/Kg y un valor máximo de 345.25 mg/Kg, a diferencia de la enmienda guano de cuy con un valor mínimo de 627.13 mg/Kg y un valor máximo de 676.87 mg/Kg, indicando así que la

enmienda orgánica guano isla favorece en la captación del plomo en las raíces de la especie empleada en la fitorremediación.

4.1.3.2. Resultados de la concentración de Arsénico en la raíz

Los resultados sobre la concentración de Arsénico en la raíz de la planta *Phalaris aquatica* en función a las enmiendas orgánicas se muestra a continuación:

Tabla 10.
Concentración de Arsénico en raíz de la especie *Phalaris aquatica*

CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA RAÍZ				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	0.00	mg/Kg	26.60	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	23.93	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.15	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.68	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	17.33	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.51	mg/Kg
Guano de cuy	0.00	mg/Kg	41.26	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	38.41	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	46.88	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	45.32	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	43.73	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	49.27	mg/Kg
Guano isla	0.00	mg/Kg	61.52	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	68.00	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	73.12	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	69.83	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	74.30	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	69.95	mg/Kg

Figura 11.
 Promedio de concentración de Arsénico en la raíz



Interpretación:

En la tabla y figura presentados sobre la concentración de Arsénico en la raíz de la especie *Phalaris aquatica* de acuerdo a las enmiendas orgánicas aplicadas en el estudio, se aprecia que en la concentración inicial se obtuvo un valor promedio de 0.00 mg/kg en general, en la enmienda aserrín un valor mínimo de 17.33 mg/Kg y un valor máximo de 26.60 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo un valor mínimo de 38.41 mg/Kg y un valor máximo de 49.27 mg/Kg, a diferencia de la enmienda guano de cuy con un valor mínimo de 61.52 mg/Kg y un valor máximo de 74.30 mg/Kg, indicando así que la enmienda orgánica guano isla favorece en la captación del Arsénico en las raíces de la especie empleada en la fitorremediación.

4.1.3.3. Resultados de la concentración de Cadmio en la raíz

Los resultados sobre la concentración de Cadmio en la raíz de la planta *Phalaris aquatica* en función a las enmiendas orgánicas se muestra a continuación:

Tabla 11.

Concentración de Cadmio en raíz de la especie Phalaris aquatica

CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA RAÍZ				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	0.00	mg/Kg	26.60	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	23.93	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.15	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.68	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	17.33	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	18.51	mg/Kg
Guano de cuy	0.00	mg/Kg	41.26	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	38.41	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	46.88	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	45.32	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	43.73	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	49.27	mg/Kg
Guano isla	0.00	mg/Kg	61.52	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	68.00	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	73.12	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	69.83	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	74.30	mg/Kg
	0.00	mg/Kg	69.95	mg/Kg

Figura 12.

Promedio de concentración de Cadmio en la raíz



Interpretación:

Como se observa en la tabla y figura sobre la concentración de Cadmio en la raíz de la especie *Phalaris aquatica* de acuerdo a las enmiendas orgánicas aplicadas en el estudio, en la concentración inicial se obtuvo un valor promedio de 0.00 mg/kg en general, en la enmienda aserrín un valor mínimo de 17.33 mg/Kg y un valor máximo de 26.60 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo un valor mínimo de 38.41 mg/Kg y un valor máximo de 49.27 mg/Kg, a diferencia de la enmienda guano de cuy con un valor mínimo de 61.52 mg/Kg y un valor máximo de 74.30 mg/Kg, indicando así que la enmienda orgánica guano isla favorece en la captación del Cadmio en las raíces de la especie empleada en la fitorremediación.

4.1.4. Resultados de la concentración de metales pesados en el suelo

La concentración de los metales pesados en las tres diferentes enmiendas orgánicas evaluadas es:

Para la concentración de plomo en el suelo contaminado se cuenta con los siguientes promedios antes y después del tratamiento con aserrín, guano de cuy y guano isla.

Tabla 12.
Concentración de plomo en función a las enmiendas orgánicas

TIPO DE ENMIENDA	PLOMO			
	Pre Test	Unidad de medida	Post Test	Unidad de medida
Aserrín	811.16	mg/Kg	597.86	mg/Kg
Guano de cuy	811.16	mg/Kg	476.93	mg/Kg
Guano isla	811.16	mg/Kg	153.44	mg/Kg

Figura 13.

Promedio de la concentración de plomo en función a enmiendas orgánicas



Interpretación:

Para la concentración promedio de Plomo en el suelo contaminado con Plomo antes y después de la fitorremediación aplicando enmiendas orgánicas de tres tipos se aprecia en la tabla y figura que la concentración en el pre test fue de 811.16 mg/Kg tanto para la enmienda aserrín, guano de cuy y guano isla, en el post test de la fitorremediación con aserrín fue de 597.86 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 496.93 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Plomo fue de 153.44 mg/Kg, concluyendo así que la enmienda orgánica guano isla influye positiva y significativamente en la disminución de Plomo en el suelo.

En cuanto a la concentración del Arsénico en el suelo contaminado se obtuvieron los siguientes valores promedios del antes y después de los tratamientos con los tres tipos de enmiendas aplicadas.

Tabla 13.

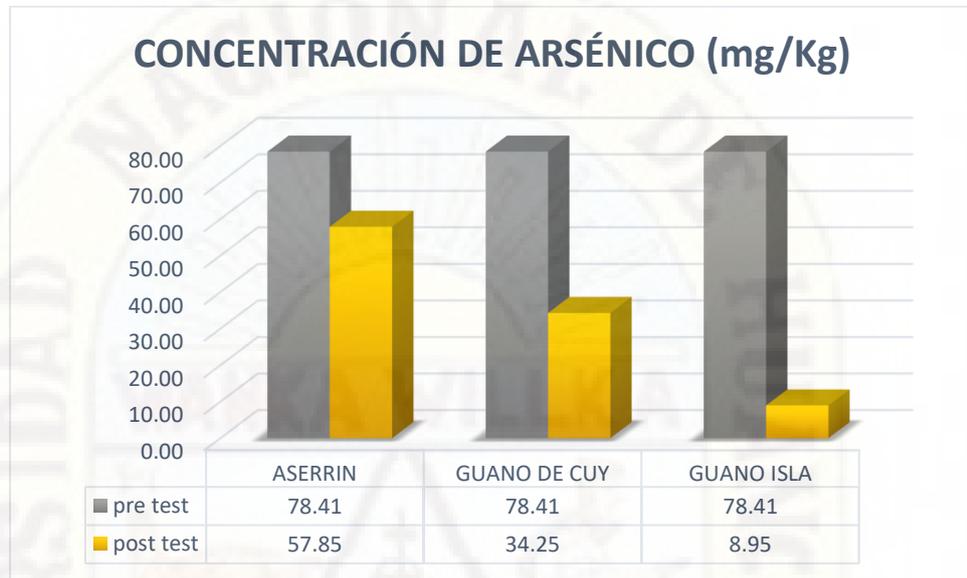
Concentración de Arsénico en función a las enmiendas orgánicas

TIPO DE ENMIENDA	ARSÉNICO			
	Pre Test	Unidad de medida	Post Test	Unidad de medida
Aserrín	78.41	mg/Kg	57.85	mg/Kg

Guano de cuy	78.41	mg/Kg	34.25	mg/Kg
Guano isla	78.41	mg/Kg	8.95	mg/Kg

Figura 14.

Promedio de la concentración de Arsénico en función a enmiendas orgánicas



Interpretación:

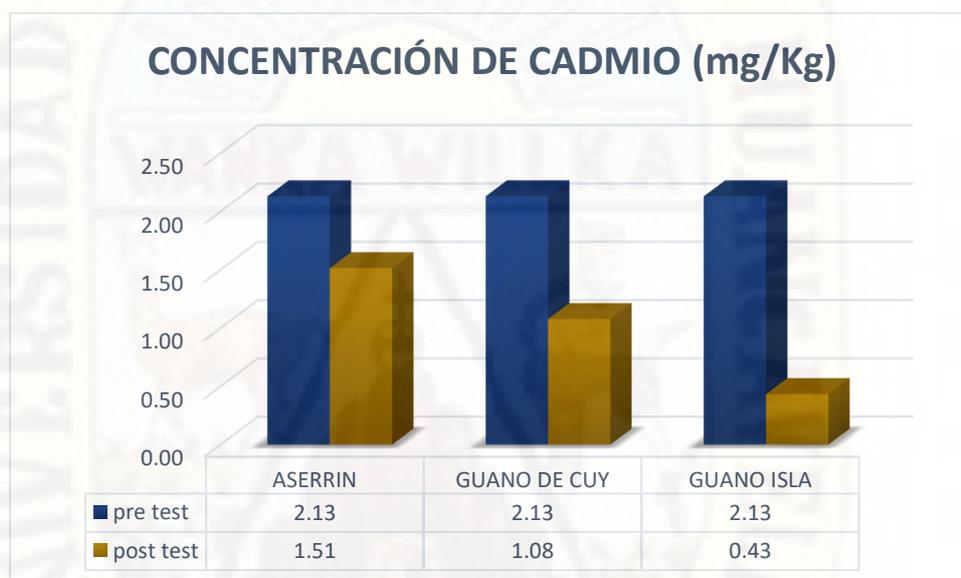
En cuanto a la concentración promedio de Arsénico en el suelo contaminado antes y después de la fitorremediación aplicando enmiendas orgánicas de tres tipos se aprecia en la tabla y figura que la concentración en el pre test fue de 78.41 mg/Kg tanto para la enmienda aserrín, guano de cuy y guano isla, en el post test de la fitorremediación con aserrín fue de 57.85 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 34.25 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Arsénico disminuyó hasta 8.95 mg/Kg, concluyendo así que la enmienda orgánica guano isla influye positiva y significativamente en la disminución de Arsénico en el suelo.

Para la concentración de Cadmio en el suelo contaminado se evidencian los siguientes valores promedios obtenidos a partir de un antes y después de los tratamientos aplicados.

Tabla 14.
Concentración de Cadmio en función a las enmiendas orgánicas

TIPO DE ENMIENDA	CADMIO			
	Pre Test	Unidad de medida	Post Test	Unidad de medida
Aserrín	2.13	mg/Kg	1.51	mg/Kg
Guano de cuy	2.13	mg/Kg	1.08	mg/Kg
Guano isla	2.13	mg/Kg	0.43	mg/Kg

Figura 15.
Promedio de la concentración de Cadmio en función a enmiendas orgánicas



Interpretación:

Para la concentración promedio de Cadmio en el suelo contaminado antes y después de la fitorremediación aplicando enmiendas orgánicas de tres tipos se aprecia en la tabla y figura que la concentración en el pre test fue de 2.13 mg/Kg tanto para la enmienda aserrín, guano de cuy y guano isla, en el post test de la fitorremediación con aserrín fue de 1.51 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 1.08 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Arsénico disminuyó hasta 0.43 mg/Kg, concluyendo así que la enmienda orgánica guano isla influye positiva y significativamente en la disminución de Cadmio en el suelo.

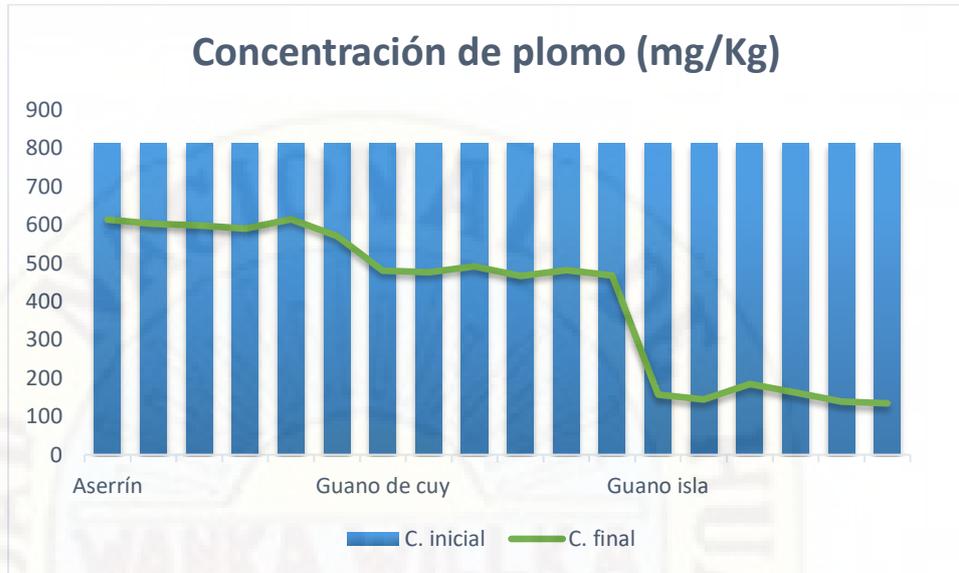
4.1.4.1. Resultados de la concentración de Plomo en el suelo

Los principales resultados del análisis de la concentración de Plomo en el suelo se aprecian en la siguiente tabla y figura:

Tabla 15.
Concentración de Plomo en el suelo en función a enmiendas orgánicas

CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	811.16	mg/Kg	613.10	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	601.89	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	598.13	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	589.65	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	614.28	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	570.10	mg/Kg
Guano de cuy	811.16	mg/Kg	480.11	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	475.53	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	491.84	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	465.91	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	481.06	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	467.10	mg/Kg
Guano isla	811.16	mg/Kg	156.42	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	144.41	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	183.79	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	162.85	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	139.11	mg/Kg
	811.16	mg/Kg	134.09	mg/Kg

Figura 16.
 Concentración de Plomo en el suelo en función a enmiendas orgánicas



Interpretación:

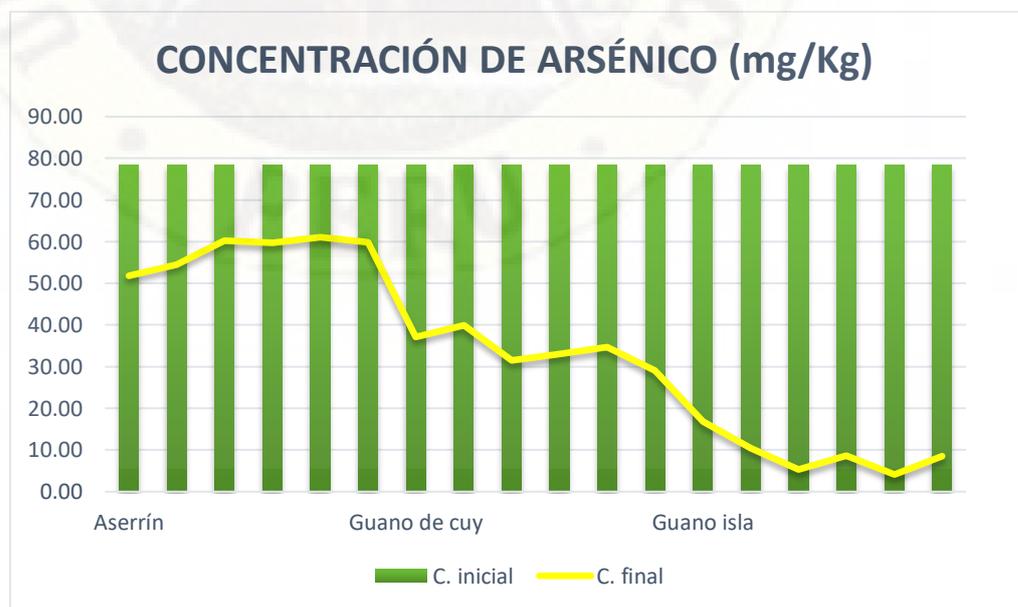
Sobre la concentración de Plomo en el suelo antes y después del tratamiento con fitorremediación con enmiendas orgánicas se observa que en la tabla y figura que la concentración inicial fue de 811.16 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 614.70 mg/Kg y mínimo de 570.10 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 465.91 mg/Kg y un valor máximo de 491.84 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 134.09 mg/Kg y un valor máximo de 183.79 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Plomo en el suelo.

4.1.4.2. Resultados de la concentración de Arsénico en el suelo

En cuanto a los resultados de la concentración inicial y final del Arsénico en el suelo con la aplicación de fitorremediación con enmiendas orgánicas se aprecian en la siguiente tabla y figura:

Tabla 16.*Concentración de Arsénico en el suelo en función a enmiendas orgánicas*

CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL SUELO				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	78.41	mg/Kg	51.76	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	54.46	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	60.21	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	59.73	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	61.08	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	59.87	mg/Kg
Guano de cuy	78.41	mg/Kg	37.14	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	39.96	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	31.51	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	33.09	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	34.68	mg/Kg
Guano isla	78.41	mg/Kg	16.87	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	10.40	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	5.26	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	8.58	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	4.11	mg/Kg
	78.41	mg/Kg	8.45	mg/Kg

Figura 17.*Concentración de Arsénico en función a enmiendas orgánicas*

Interpretación:

En cuanto a la concentración de Arsénico en el suelo antes y después del tratamiento con fitorremediación con enmiendas orgánicas se observa que en la tabla y figura que la concentración inicial fue de 78.41 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 61.08 mg/Kg y mínimo de 51.76 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 29.12 mg/Kg y un valor máximo de 39.96 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 4.11 mg/Kg y un valor máximo de 16.87 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Arsénico en el suelo.

4.1.4.3. Resultados de la concentración de Cadmio en el suelo

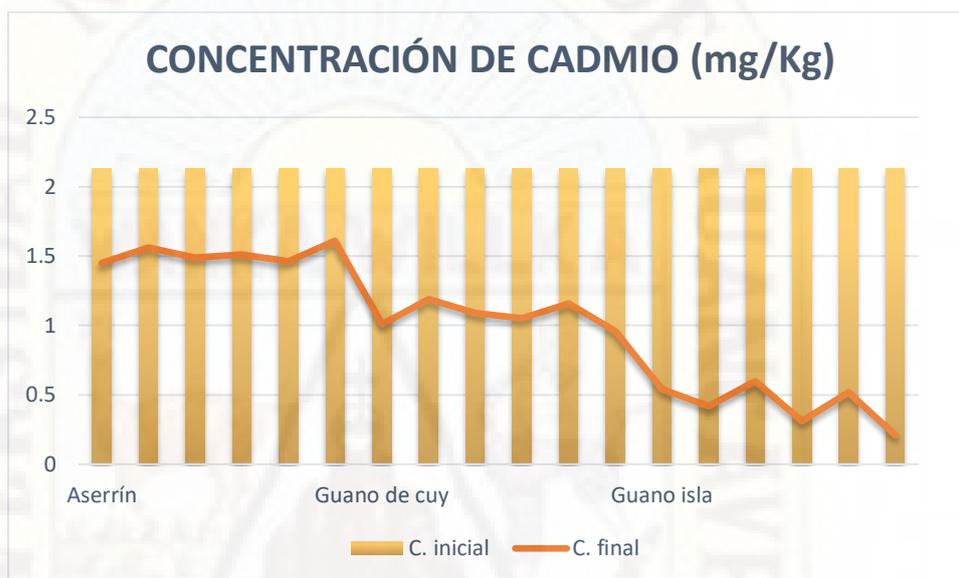
Para los valores de la concentración de Cadmio en el suelo evaluados en la concentración inicial y final de acuerdo a los tipos de enmienda aplicados en la fitorremediación se muestran en la siguiente tabla y figura:

Tabla 17.
Concentración de Cadmio en el suelo en función a enmiendas orgánicas

CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO				
Tipo de enmienda	Concentración inicial	Unidad de medida	Concentración final	Unidad de medida
Aserrín	2.13	mg/Kg	1.45	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.56	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.49	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.51	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.46	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.61	mg/Kg
Guano de cuy	2.13	mg/Kg	1.01	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.19	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.09	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.05	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	1.16	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	0.96	mg/Kg

	2.13	mg/Kg	0.54	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	0.42	mg/Kg
Guano	2.13	mg/Kg	0.60	mg/Kg
isla	2.13	mg/Kg	0.31	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	0.52	mg/Kg
	2.13	mg/Kg	0.21	mg/Kg

Figura 18.
Concentración de Cadmio en el suelo en función a enmiendas orgánicas



Interpretación:

Para la concentración de Cadmio en el suelo antes y después del tratamiento con fitorremediación con enmiendas orgánicas se observa que en la tabla y figura que la concentración inicial fue de 2.13 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 1.61 mg/Kg y mínimo de 1.45 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 0.96 mg/Kg y un valor máximo de 1.19 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 0.21 mg/Kg y un valor máximo de 0.60 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Cadmio en el suelo.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de hipótesis general

Para el análisis inferencial de la prueba de hipótesis general se tuvo el siguiente problema de investigación: ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La fitorremediación con enmiendas orgánicas influye significativamente disminuyendo la concentración de los metales pesados en el suelo del Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, en un 30%.

Hipótesis Nula (Ho): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, no influye significativamente.

b. Prueba de normalidad de datos

- Ho: $p < \alpha$
- Ha: $p > \alpha$

La prueba de normalidad realizada para la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas y las concentraciones de metales pesados en el suelo se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que se aplica a muestras menores a 50, como resultado se obtuvo niveles de significancia mayores a 0.05, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal.

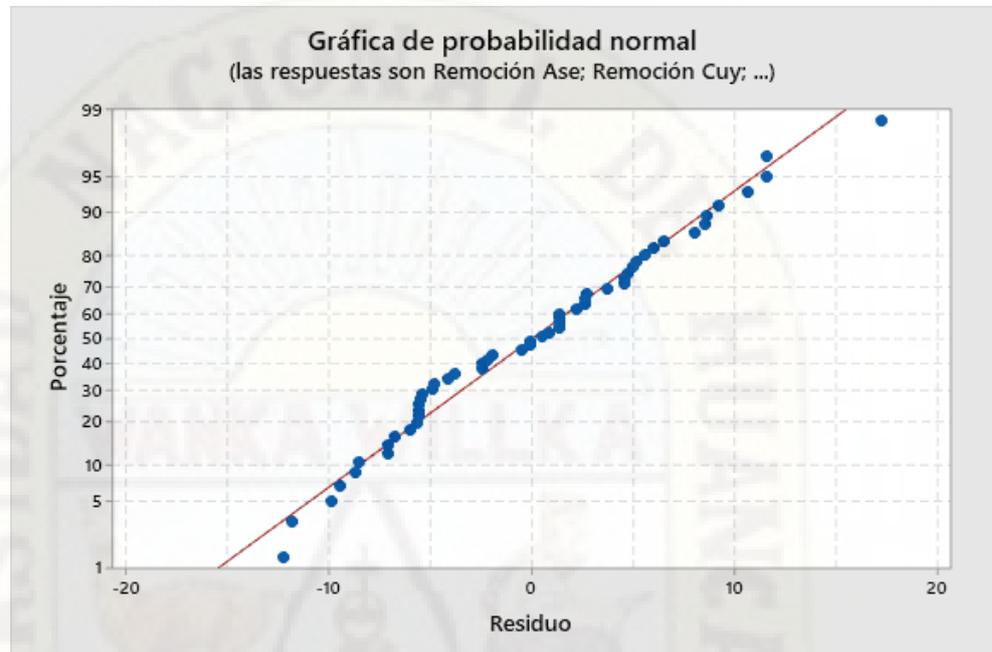
Tabla 18.

Prueba de normalidad para la remoción de metales pesados en función a las enmiendas orgánicas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Remoción Aserrín	,898	6	,054
Remoción Cuy	,930	6	,192

Figura 19.

Normalidad de las concentraciones de metales pesados de acuerdo a las enmiendas orgánicas



Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab v. 19

c. Prueba de igualdad de varianza de datos

- H_0 : Todas las varianzas son iguales
- H_a : Por lo menos una varianza es diferente
- $\alpha = 0.05$

Para la aplicación de la prueba ANOVA para la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas y las concentraciones de metales pesados en el suelo se realizó la prueba de igualdad de varianzas a fin de deducir si alguna de las varianzas es diferente o todas son iguales con un nivel de significancia de 0.05, obteniendo un valor P de 0.042 de acuerdo al método Levene, concluyendo así que las varianzas son diferentes.

Tabla 19.
Prueba de igualdad de varianzas para la fitorremediación con enmiendas orgánicas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.037
Levene	0.40	0.042

d. Prueba de hipótesis ANOVA

- Ho: Todas las medias son iguales
- Ha: No todas las medias son iguales
- $\alpha = 0.05$
- $F >$ valor crítico F

Para la evaluación de la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas y la disminución de concentraciones de metales pesados en el suelo se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), el nivel de confianza del 95%, el valor crítico F de 3.232. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue la prueba ANOVA de un solo factor, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor estadístico F de 298.23. Se obtuvo un valor F mayor al valor crítico F, un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 20.
Resultados de la prueba de hipótesis general

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	2762	1331.0	298.23	0.000
Error	51	2348	46.0		
Total	53	2910.1			

Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab V. 19

e. Prueba de comparaciones en parejas de Tukey

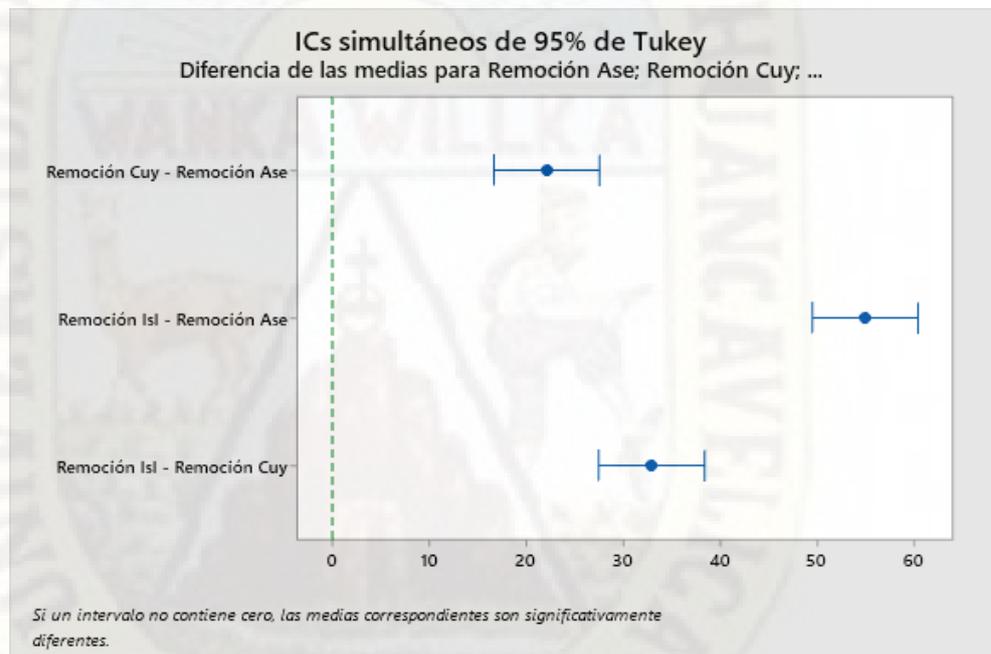
Para identificar si alguna de los tratamientos son significativamente diferentes se realizó la prueba de Tukey, tanto para la remoción aplicando aserrín, guano de cuy y guano isla. A partir del procesamiento se obtuvo que

todas las medias son diferentes, pero se obtuvo que existe una mayor eficiencia en la disminución de metales pesados aplicando el guano de isla.

Tabla 21.
Prueba Tukey para la hipótesis general

Factor	N	Media	Agrupación
Remoción Isla	18	84.10	A
Remoción Cuy	18	51.24	B
Remoción Aserrín	18	29.21	C

Figura 20.
Prueba de diferencia de medias de Tukey



Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab v. 19

f. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística ANOVA para la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas y la disminución de las concentraciones de metales pesados en el suelo en un 30% se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

g. Conclusión estadística

Se concluye que “La fitorremediación con enmiendas orgánicas influye significativamente disminuyendo la concentración de los metales pesados en el suelo del Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, en un 30%” con un 95% de confianza, a una distribución normal, valor F menor al valor crítico F, un P valor menor a 0.05, valor y la comparación Tukey indicando medias diferentes entre tratamientos e indicando la mayor eficiencia en el tratamiento con guano de isla.

4.2.1. Prueba de hipótesis específica 1

Para el análisis inferencial de la prueba de hipótesis específica 1 se tuvo el siguiente problema de investigación: ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alternativa (H_a): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente.

Hipótesis Nula (H₀): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, no influye significativamente.

b. Prueba de normalidad de datos

- H₀: $p < \alpha$
- H_a: $p > \alpha$

La prueba de normalidad realizada a la concentración de Plomo en el suelo luego de la fitorremediación en función a las enmiendas orgánicas se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que se aplica a muestras menores a 50, como resultado se obtuvo niveles de

significancia mayores a 0.05, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal.

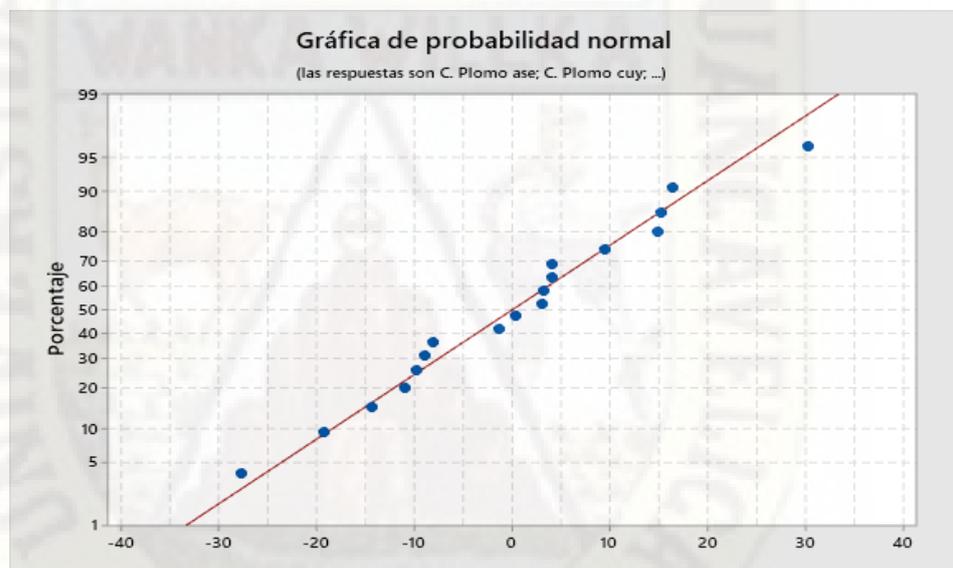
Tabla 22.

Prueba de normalidad para la concentración de Plomo en función a las enmiendas orgánicas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
C. Plomo Aserrín	,939	6	,650
C. Plomo Cuy	,937	6	,637
C. Plomo Isla	,804	6	,064

Figura 21.

Normalidad de las concentraciones de Plomo de acuerdo a las enmiendas orgánicas



Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab v. 19

c. Prueba de igualdad de varianza de datos

- H_0 : Todas las varianzas son iguales ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$)
- H_a : Por lo menos una varianza es diferente ($H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$)
- $\alpha = 0.05$

Para la aplicación de la prueba ANOVA para la concentración de Plomo en el suelo aplicando la fitorremediación con enmiendas orgánicas se realizó la prueba de igualdad de varianzas a fin de deducir si alguna de

las varianzas es diferente o todas son iguales con un nivel de significancia de 0.05, obteniendo un valor P de 0.048 de acuerdo al método Levene, concluyendo así que las varianzas son diferentes.

Tabla 23.
Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Plomo

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.042
Levene	0.91	0.048

d. Nivel de significancia o riesgo

- Ho: Todas las medias son iguales
- Ha: No todas las medias son iguales
- $\alpha = 0.05$
- $F >$ valor crítico F

Para la evaluación de las concentraciones de Plomo en función a las enmiendas orgánicas se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), el nivel de confianza del 95%, valor crítico F de 3.682. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue la prueba ANOVA de un solo factor, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor estadístico F de 135.37. Se obtuvo un valor crítico F menor al valor F y un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 24.
Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 1

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	63357	3167	135.37	0.000
Error	15	306	234		
Total	17	63043			

Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab V. 19

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística ANOVA para las concentraciones de Plomo en el suelo en función a la fitorremediación con enmiendas orgánicas se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente” con un 95% de confianza, a una distribución normal, un valor F mayor al valor crítico F y un P valor menor a 0.05.

4.2.2. Prueba de hipótesis específica 2

Para el análisis inferencial de la prueba de hipótesis específica 1 se tuvo el siguiente problema de investigación: ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente.

Hipótesis Nula (Ho): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, no influye significativamente.

b. Prueba de normalidad de datos

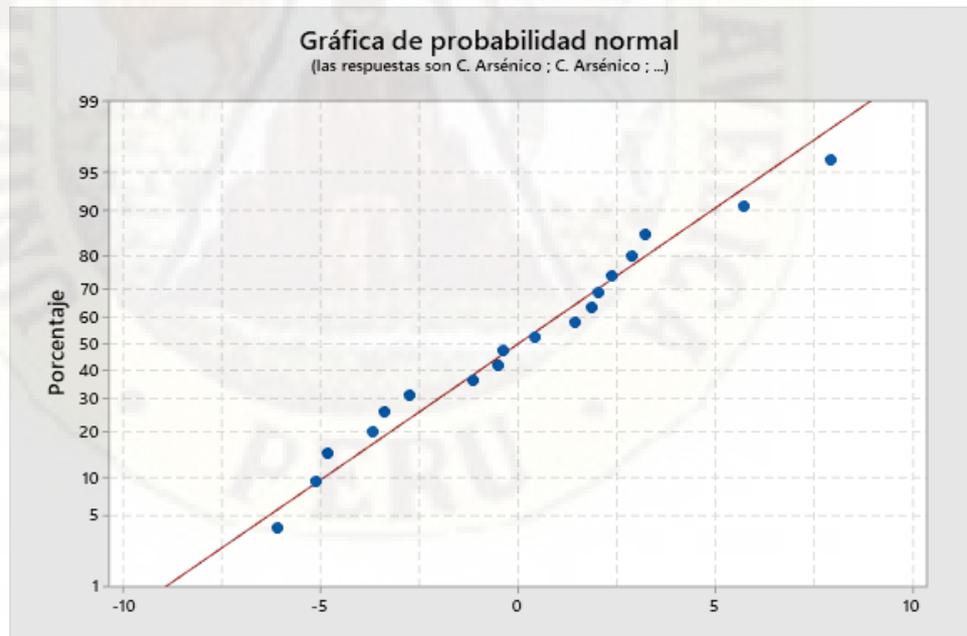
- $H_o: p < \alpha$
- $H_a: p > \alpha$

La prueba de normalidad realizada a la concentración de Arsénico en el suelo luego de la fitorremediación en función a las enmiendas orgánicas se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que se aplica a muestras menores a 50, como resultado se obtuvo niveles de significancia mayores a 0.05, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal.

Tabla 25.
Prueba de normalidad para la concentración de Arsénico en función a las enmiendas orgánicas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
C. Arsénico Aserrín	,990	6	,988
C. Arsénico Cuy	,912	6	,452
C. Arsénico Isla	,930	6	,582

Figura 22.
Normalidad de las concentraciones de Arsénico de acuerdo a las enmiendas orgánicas



Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab v. 19

c. Prueba de igualdad de varianza de datos

- Ho: Todas las varianzas son iguales
- Ha: Por lo menos una varianza es diferente

- $\alpha = 0.05$

Para la aplicación de la prueba ANOVA para la concentración de Arsénico en el suelo aplicando la fitorremediación con enmiendas orgánicas se realizó la prueba de igualdad de varianzas a fin de deducir si alguna de las varianzas es diferente o todas son iguales con un nivel de significancia de 0.05, obteniendo un valor P de 0.049 de acuerdo al método Levene, concluyendo así que las varianzas son diferentes.

Tabla 26.
Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Arsénico

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.045
Levene	0.05	0.049

d. Nivel de significancia o riesgo

- H_0 : Todas las medias son iguales
- H_a : No todas las medias son iguales
- $\alpha = 0.05$
- $F > \text{valor crítico } F$

Para la evaluación de las concentraciones de Arsénico en función a las enmiendas orgánicas se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), el nivel de confianza del 95%, valor crítico F de 3.682. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue la prueba ANOVA de un solo factor, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor estadístico F de 214.69. Se obtuvo un valor F mayor al valor crítico F y un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 27.

Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 2

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	7178.4	3589.21	214.69	0.000
Error	15	250.8	16.72		
Total	17	7429.2			

Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab V. 19

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística ANOVA para las concentraciones de Arsénico en el suelo en función a la fitorremediación con enmiendas orgánicas se tiene un valor F de 214.69 que es mayor al valor crítico de 3.682, un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente” con un 95% de confianza, a una distribución normal, un valor crítico F menor al valor F y un P valor menor a 0.05.

4.2.3. Prueba de hipótesis específica 3

Para el análisis inferencial de la prueba de hipótesis específica 3 se tuvo el siguiente problema de investigación: ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente.

Hipótesis Nula (Ho): La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, no influye significativamente.

b. Prueba de normalidad de datos

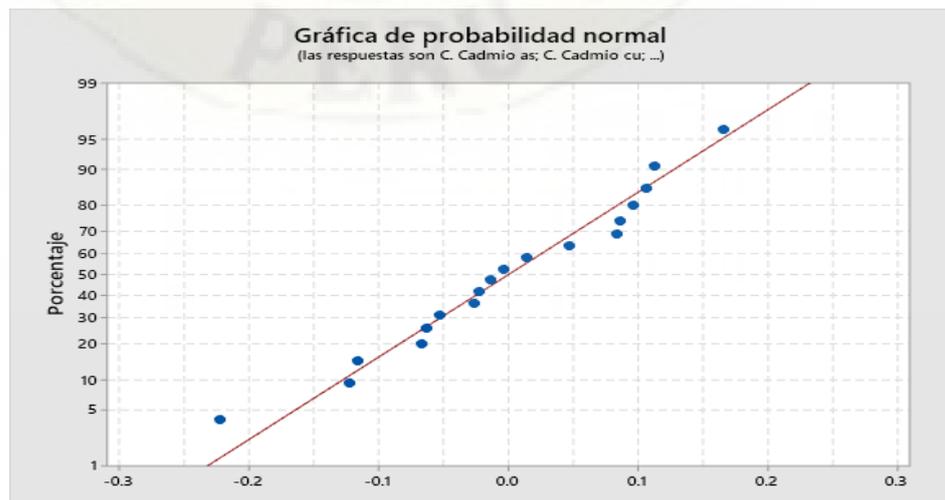
- Ho: $p < \alpha$
- Ha: $p > \alpha$

La prueba de normalidad realizada a la concentración de Cadmio en el suelo luego de la fitorremediación en función a las enmiendas orgánicas se realizó mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk ya que se aplica a muestras menores a 50, como resultado se obtuvo niveles de significancia mayores a 0.05, de ello se deduce que nuestra distribución de datos es normal.

Tabla 28.
Prueba de normalidad para la concentración de Cadmio en función a las enmiendas orgánicas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
C. Cadmio Aserrín	,930	6	,582
C. Cadmio Cuy	,967	6	,871
C. Cadmio Isla	,939	6	,649

Figura 23.
Normalidad de las concentraciones de Cadmio de acuerdo a las enmiendas orgánicas



Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab v. 19

c. Prueba de igualdad de varianzas de datos

- Ho: Todas las varianzas son iguales
- Ha: Por lo menos una varianza es diferente
- $\alpha = 0.05$

Para la aplicación de la prueba ANOVA para la concentración de Cadmio en el suelo aplicando la fitorremediación con enmiendas orgánicas se realizó la prueba de igualdad de varianzas a fin de deducir si alguna de las varianzas es diferente o todas son iguales con un nivel de significancia de 0.05, obteniendo un valor P de 0.029 de acuerdo al método Levene, concluyendo así que las varianzas son diferentes.

Tabla 29.
Prueba de igualdad de varianzas para la concentración de Cadmio

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.014
Levene	2.52	0.029

d. Nivel de significancia o riesgo

- Ho: Todas las medias son iguales
- Ha: No todas las medias son iguales
- $\alpha = 0.05$
- $F > \text{valor crítico } F$

Para la evaluación de las concentraciones de Cadmio en función a las enmiendas orgánicas se determinó a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), el nivel de confianza del 95%, el valor crítico F de 3.682. El estadístico que se utilizó en esta investigación fue la prueba ANOVA de un solo factor, donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,000 y el valor estadístico F de 156.63. Se obtuvo un valor F mayor al valor crítico F y un nivel de significancia menor al 0,05 lo cual nos conduce a deducir que se

acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 30.

Resultados de la prueba de hipótesis específica N° 3

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	3.541	1.7706	156.63	0.000
Error	15	0.169	0.0131		
Total	17	3.715			

Fuente: Elaborado en el programa estadístico Minitab V. 19

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística ANOVA para las concentraciones de Cadmio en el suelo en función a la fitorremediación con enmiendas orgánicas se tiene un valor F de 156.63 que es mayor al valor crítico de 3.682, un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) lo cual significa que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que “La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, influye significativamente” con un 95% de confianza, a una distribución normal, un valor F mayor al valor crítico F y un P valor menor a 0.05.

4.3. Discusión de resultados

La discusión de resultados se realizó en base a los objetivos de la investigación y el análisis aplicado fue el deductivo partiendo del general hasta llegar a los objetivos específicos.

Como objetivo general se tuvo “Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en la remoción de metales pesados de suelos contaminados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, donde Muntean, et. al (2015), en su investigación sobre la migración de iones metálicos a *Phalaris Arundinacea* con el propósito de la descontaminación del

suelo, donde concluyeron que la gramínea *Phalaris Arundinacea* presenta una buena capacidad de acumulación de los iones metálicos, y la mayor parte de estos se encuentran en el tallo, luego y la concentración menor en las hojas, así mismo cuando se tiene una menor concentración de iones metálicos en la solución del suelo se produce una adsorción más intensa y a mayor concentración se reduce la velocidad de adsorción, en la investigación se obtuvo la concentración inicial de 811.16 mg/Kg y la concentración final después de la fitorremediación con aserrín fue de 597.86 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 496.93 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Plomo fue de 153.44 mg/Kg, la concentración de inicial de Arsénico fue de 78.41 mg/Kg tanto para la enmienda aserrín, guano de cuy y guano isla, la concentración final después de la fitorremediación con aserrín fue de 57.85 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 34.25 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Arsénico disminuyó hasta 8.95 mg/Kg, en cuanto a la concentración de Cadmio inicial fue de 2.13 mg/Kg tanto para la enmienda aserrín, guano de cuy y guano isla, en la concentración final después de la fitorremediación con aserrín fue de 1.51 mg/Kg, en la enmienda guano de cuy fue de 1.08 mg/Kg y finalmente la concentración en el suelo de Arsénico disminuyó hasta 0.43 mg/Kg, al respecto Brutti et. al (2018), la fitorremediación se considera como el método menos destructivo para la remediación de los suelos debido a que se emplean diversos organismos naturales lo cual permite preservar el estado natural del ambiente, así mismo Covarrubias y Peña (2017) señalan que los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad mayor o igual a 5g/cm^3 cuando se encuentran en forma elemental, presentan números atómicos superiores a 20 y son aquellos elementos que a mayor concentración son más tóxicos para la vida, como se puede apreciar en la investigación citada, la especie empleada para la disminución de la concentración de metales pesados fue eficiente lo cual concuerda con la investigación realizada en donde se aprecia que la concentración de los tres metales evaluados disminuyó significativamente y presenta mayor eficiencia al agregarle la enmienda orgánica guano isla, así mismo se puede señalar que este tipo de fitorremediación básicamente la

fitoextracción es un tipo de procedimiento menos agresivo y ayuda óptimamente para la recuperación del suelo.

Como primer objetivo específico se planteó “Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, donde Paiva (2015), en su trabajo de investigación sobre la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo utilizando *Amaranthus spinosus amaranthaceae* en Cusco, demostrando que la especie *Amaranthus spinosus* alcanzó con más intensidad en las raíces con 600 mg/Kg de suelo, finalmente concluye que la especie *Amaranthus spinosus* tiene la capacidad de acumular en sus tejidos Plomo al crecer en suelos contaminados hasta en la más alta concentración no muriendo la planta y demostrando tolerancia al metal, en la investigación se obtuvo que la concentración inicial para Plomo fue de 811.16 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 614.70 mg/Kg y mínimo de 570.10 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 465.91 mg/Kg y un valor máximo de 491.84 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 134.09 mg/Kg y un valor máximo de 183.79 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Plomo en el suelo; al respecto Cervantes y Moreno (2007), señalan que el Plomo no se degrada, por lo que cuando se libera al aire se moviliza en grandes distancias hasta que se deposite en el suelo, este a su vez se adhiere a las partículas que componen el suelo, y su movilización al agua subterránea dependerá del compuesto del Plomo, así como de las características del suelo, como se aprecia en el antecedente citado, la especie que aplico es diferente a la empleada en la investigación pero es eficiente en la remoción de Plomo concentrado en el suelo lo cual concuerda con la investigación en la cual se empleó la especie *Phalaris aquatica* que proporciona mayores niveles de reducción de la concentración con presencia de la enmienda orgánica guano isla, cabe señalar que este metal

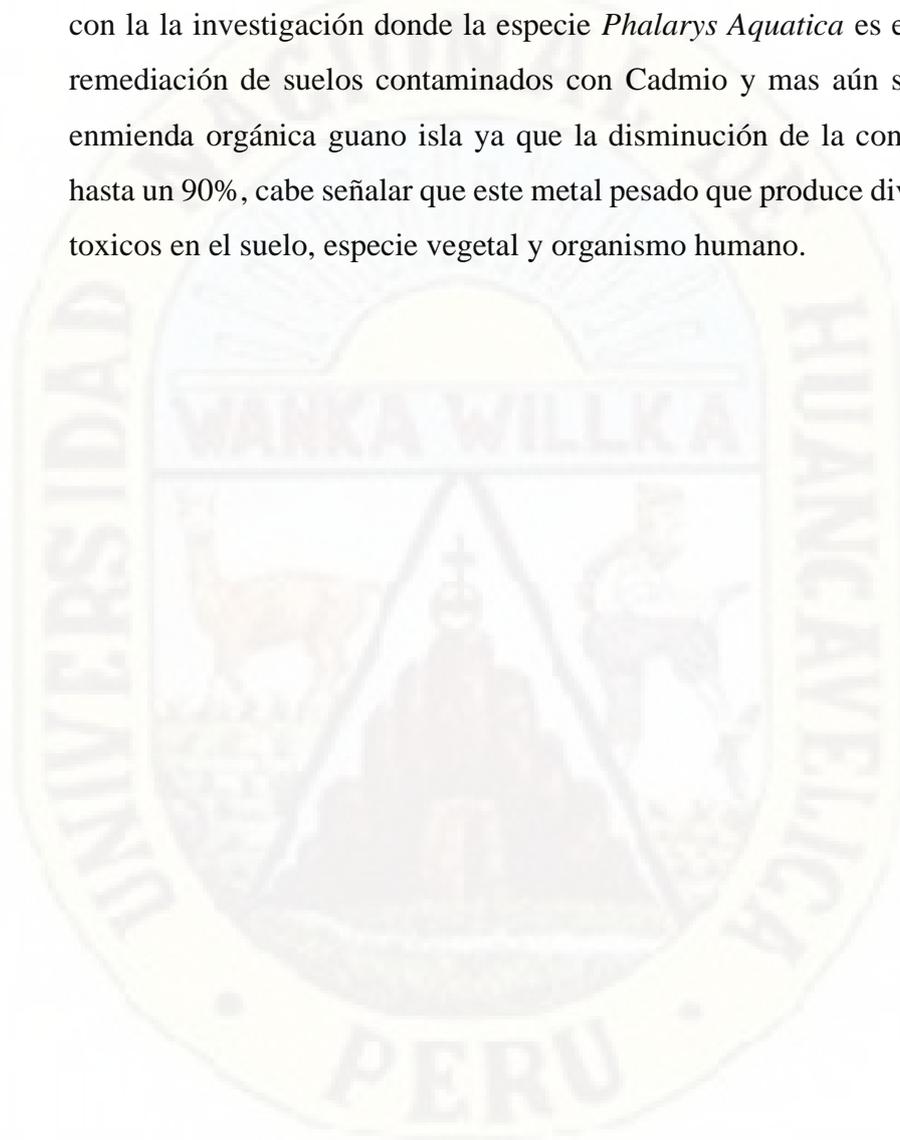
pesado es altamente toxico y se deposita generalmente en el suelo por lo que es necesario emplear un tratamiento eficiente.

Como segundo objetivo específico se propuso “Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, donde Papuico (2018), en su investigación acerca de “Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas”, obtuvo los siguientes resultados, la concentración de Arsénico en la hoja de 93.8 mg/Kg, en la raíz de 11.1 mg/Kg, la concentración de Cadmio en la hoja de 6.35 mg/Kg y en la raíz de 5.71 mg/Kg, la concentración de Plomo en la hoja de 436.25 mg/Kg y en la raíz de 80.47 mg/Kg, concluyendo que la planta Yaluzai es bioacumulador de metales, en la investigación se obtuvo que la concentración inicial para Arsénico fue de 78.41 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 61.08 mg/Kg y mínimo de 51.76 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 29.12 mg/Kg y un valor máximo de 39.96 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 4.11 mg/Kg y un valor máximo de 16.87 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Arsénico en el suelo; al respecto Bautista (1999) señala que este elemento se encuentra presente en el suelo con menor concentración es suelos arenosos y mayor concentración en suelos orgánicos; el origen antropogénico se debe a las actividades humanas tales como la minería, industria, y prácticas agrícolas, tal como se indica en la investigación realizada por Papuico la especie Yaluzai es eficiente en la reducción de Arsénico lo cual concuerda con la investigación realizada sobre la fitorremediación con la especie *Phalaris aquatica* que es eficaz en la remediación de Arsénico y más aún si se aplica la enmienda orgánica guano isla ya que mejora la eficiencia de

la fitoestabilización de la especie aplicada, así mismo es de vital importancia tratar este metal pesado ya que es toxico en altas concentraciones.

Como tercer objetivo específico se estableció “Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín”, donde Rosikon et. al (2015), estudiaron el potencial de fitorremediación de las plantas energéticas seleccionadas (*Miscanthus giganteus L.* y *Phalaris arundinacea L.*), en dependencia de la fertilización, esta investigación se centró en la influencia de la fertilización en el cultivo de *Miscanthus giganteus L.* y *Phalaris arundinacea L.* en el proceso de fitorremediación de Cadmio, Níquel y Zinc, mediante el uso del nitrógeno como fertilizante en una dosis de 60 kg por hectárea en el *Miscanthus giganteus L.*, y una dosis de 80 kg por hectárea en el *Phalaris arundinacea L.*, a partir del tratamiento la concentración de Cadmio en el *Phalaris arundinacea L.* vario de 0,3365 mg/kg-1 d.m. a 0.0396 mg/kg-1 d.m, a partir de estos análisis concluyen que *Miscanthus giganteus L.* y el *Phalaris arundinacea L.* absorben el Cadmio a un similar grado, así mismo la fertilización modificada tiene un impacto en la calidad de cultivos energéticos de biomasa pero depende del tipo de la planta y del metal pesado a biorremediar, en la investigación se obtuvo que la concentración inicial para Cadmio fue de 2.13 mg/Kg, pero después del tratamiento con la especie *Phalaris aquatica* añadiendo aserrín se obtuvo un valor máximo de 1.61 mg/Kg y mínimo de 1.45 mg/Kg, en cuanto a la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución con un valor mínimo de 0.96 mg/Kg y un valor máximo de 1.19 mg/Kg, finalmente para la influencia en la fitorremediación con la enmienda guano isla se obtuvo un valor mínimo de 0.21 mg/Kg y un valor máximo de 0.60 mg/Kg, lo cual indica que la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas ayuda positivamente en la reducción de la concentración de Cadmio en el suelo al respecto Agudelo, Macias, y Suárez (2005) señala que el Cadmio puede encontrarse en altas concentraciones en suelos donde se realizan procesos industriales o en zonas de vertidos de residuos peligrosos. Debido a que es un metal que se acumula fácilmente,

presenta diversos efectos tóxicos para los organismos en concentraciones pequeñas, por lo que al cuerpo humano puede ingresar por vía oral o inhalación, como se aprecia en la investigación realizada por Rosikon la especie *Phalaris Arundinacea* es eficiente en la fitorremediación de Cadmio lo cual concuerda con la la investigación donde la especie *Phalaris Aquatica* es eficiente en la remediación de suelos contaminados con Cadmio y mas aún si se aplica la enmienda orgánica guano isla ya que la disminución de la concentración es hasta un 90%, cabe señalar que este metal pesado que produce diversos efectos toxicos en el suelo, especie vegetal y organismo humano.



CONCLUSIONES

- ♣ La concentración de metales pesados disminuyó significativamente después de la fitorremediación de enmiendas orgánicas tales como aserrín, guano de cuy y guano isla con promedios de remoción de 50% en Plomo, 57% en la remoción de Arsénico y 52% en la remoción de Cadmio, indicando así que la especie *Phalaris aquatica* es eficiente en la remoción de metales pesados concentrándolos principalmente en la raíz indicando que es un tipo de planta fitoestabilizadora.
- ♣ La concentración de Plomo tuvo una disminución significativa ya que antes del tratamiento de la fitorremediación con enmiendas orgánicas se tuvo un valor de 811.16 mg/Kg, pero después de instalar la especie *Phalaris aquatica* en el suelo contaminado con Plomo añadiendo aserrín se obtuvo un valor de 597.86 mg/Kg, con la enmienda guano de cuy fue de 496.93 mg/Kg y finalmente con la enmienda guano isla fue de 153.44 mg/Kg, indicando así que esta especie influye significativamente en el tratamiento de suelos contaminados con Plomo.
- ♣ En cuanto a la concentración de Arsénico en el suelo con relación a la fitorremediación con enmiendas orgánicas presenta influencia positiva ya que la concentración inicial de este metal pesado fue de 78.41 mg/Kg, pero luego de aplicar la enmienda orgánica aserrín se obtuvo una variación de 57.85 mg/Kg, para la enmienda guano de cuy se obtuvo una disminución hasta 34.25 mg/Kg, y con la enmienda guano isla disminuyó hasta 8.95 mg/Kg, indicando así que la enmienda orgánica guano isla influye positiva y significativamente en la disminución de Arsénico en el suelo.
- ♣ La concentración de Cadmio en relación a la fitorremediación añadiendo enmiendas orgánicas tiene influencia positiva debido a que la concentración inicial fue de 2.13 mg/Kg, añadiendo aserrín disminuye hasta 1.45 mg/Kg, con guano de cuy tuvo una hasta 0.96 mg/Kg y con guano isla se obtuvo un valor mínimo de 0.21 mg/Kg, indicando así que las especie añadiendo enmiendas orgánicas son adecuadas ya que disminuye alrededor de un 52% de la concentración de Cadmio en el suelo.

RECOMENDACIONES

- ♣ Al Gobierno Regional de Junín, tomar en cuenta la investigación para desarrollar acciones para el recuperación del suelo contaminado con los metales pesados.
- ♣ A la Municipalidad Provincial de Yauli, establecer planes de mejoramiento o recuperación del suelo contaminado por el Complejo Metalúrgico La Oroya.
- ♣ A la población de La Oroya, tomar medidas preventivas a fin de evitar intoxicaciones u otras afecciones por la concentración de los metales en la localidad.
- ♣ A estudiantes universitarios, tomar en cuenta la investigación realizada para proponer nuevos temas de investigación o aplicar la tecnología empleada en lugares contaminados con metales pesados para evaluar su eficiencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRORURAL. (2016). *Guano de islas*. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura y riego.
- Agudelo, L., Macias, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista la sallista de investigación*, 57 - 60.
- Alexander, M. (1999). *Biodegradation and Bioremediation*. London: Academic Press.
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de a contaminación del suelo por metales pesados*. México: Ediciones de la Universidad Autonoma de Yucatan.
- Bernal, C. A. (2010). *Mtodologia de la investigacion para administracion, economia, humanidades y ciencias sociales*. Mexico: Pearson education.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Chiclayo - Perú.
- Brutti, L., Beltrán, M., & García, I. (2018). *Biorremediación de los recursos naturales*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Callirgos, C. (2014). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros*. Lima - Perú: La Molina.
- Canals, R., Peralta, J., & Zuburi, E. (09 de Setiembre de 2019). *Herbario de la Universidad Pública de Navarra*. Obtenido de Flora pratense y forrajera cultivada de la península ibérica: https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Phal_aqua_p.htm
- Cervantes, C., & Moreno, R. (2007). *Contaminación ambiental por metales pesados*. AGT Editor.
- Connick, V., Hodgkins, D., Simmons, A., & Nicol, ., H. (2010). Contenido de Al, Cu, Fe y Mo en Phalaris Aquatica y Trifolium subterraneum cultivados en una

instalación de almacenamiento de relaves de una mina de oro son enmendar y enmendada en el oeste de Nueva Gales del Sur, Australia. *International Journal of Mining*, 195 - 205.

Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 7 -21.

Delgadillo, A., Gonzáles, C., & Prieto, F. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 597 - 612.

Díaz, W. (2016). Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación UNMSM*, 8.

Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., & Shroeder, E. (1999). *Principios de biorrecuperación (Biorremediación)*. Mc Graw Hill.

Figueroa, F. (1996). *El cuy, su cría y explotación. Actividades productivas*. Quito - Ecuador: Editores San Juan.

Finot, V. (2014). Taxonomía del género Phalaris L (Poaceae: Pooideae: Phalarindinae). *Universidad de Concepción*, 246 - 258.

García, C., Moreno, J., Hernández, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y medio ambiente*, 125 - 138.

Gavilanes, C., & Marinovich, R. (1997). *El "Brasileño". Un pasto de corte para clima frío*. Colombia: Universidad de Nariño.

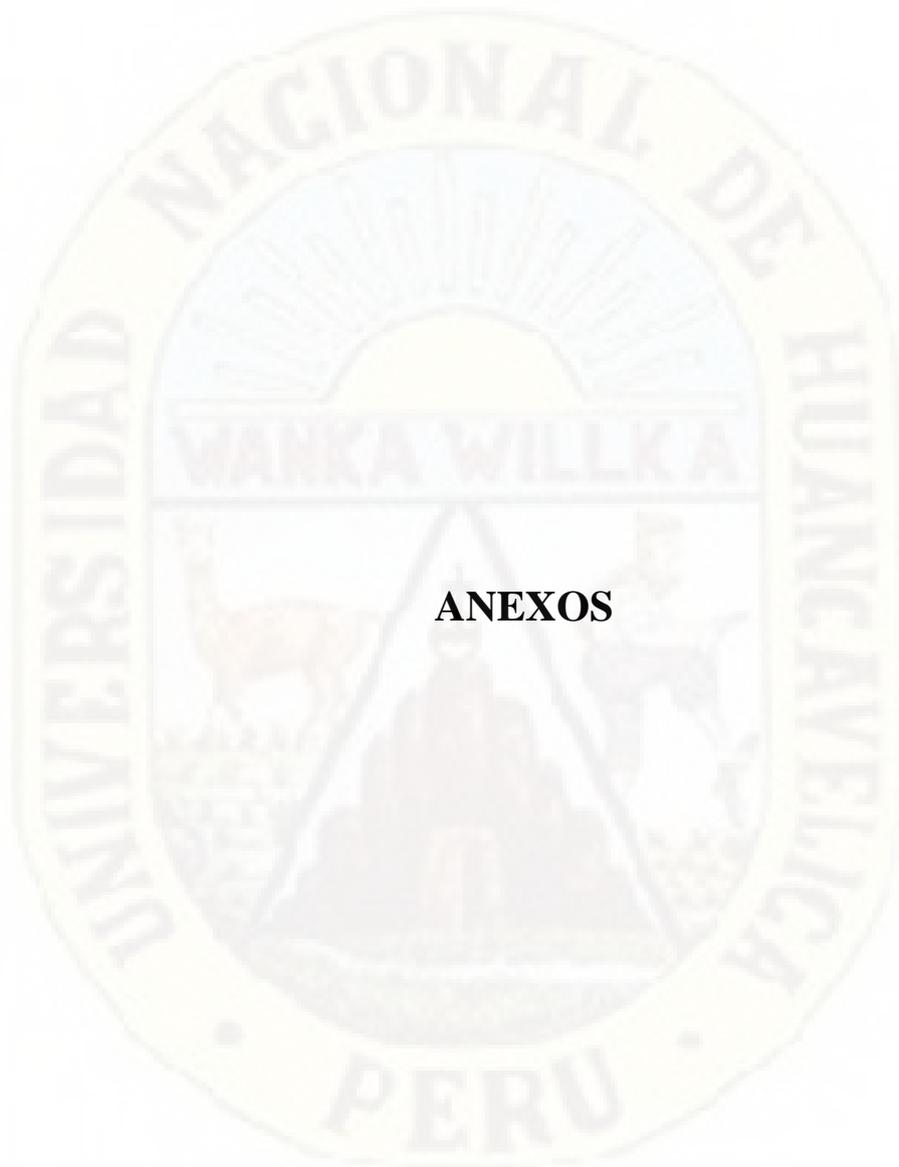
Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta edición ed.). Ciudad de Mexico: McGraw - hill / interamericana editores, S.A. de C.V.

Infoagro. (2008). *Abonos orgánicos*. Ecuador: Ciencias agrícolas.

Juarez, E., & Rico, A. (2005). *mecanica de suelos. Fundamentos de la mecanica de suelos*. Mexico: Limusa Noeriega Editores.

- Lerma, H. (2012). *Metodología de la investigación*. ECOE Ediciones.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos*. Lima: Ministerio del Ambiente .
- Molina, N., Aguilar, P., & Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud*, 77-88.
- Muntean, C., Grad, O., Negrea, A., Ciopec, M., & Duteanu, M. (2015). Migration of metal ions into Phalaris Arundinacea with the purpose soil decontamination. *Quaestus*, 214 - 229.
- Niño, V. (2011). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Paiva, G. (2015). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Amaranthus spinosus - Amaranthaceae en Cusco del 2012*. Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Papuico, K. (2018). *Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (Senecio rudbeckiaefolius) en la relavera Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Polechonska, L., & Klink, A. (2014). Potencialidades de bioindicación y fitorremediación de trazas de metales de Phalaris arundinacea L. (alpiste). *ResearchGate*.
- Ramírez, J., & Corcuera, V. (2015). *Diagnóstico de la calidad de suelo del área de influencia del complejo metalúrgico de La Oroya (CMLO) - 2014*. Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares*. Brasil: Editorial Brasilia.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & Gonzales, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista ingeniería, investigación y desarrollo*, 66 -77.

- Rodriguez, J. (2008). *La contaminación de los suelos*. Madrid - España: Editorial opera prima.
- Rodriguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma: FAO.
- Rosikon, K., Fijalkow, K., & Kacprzak, M. (2015). Phytoremediation potencial of selected energetic plants (*Miscanthus giganteus* L. and *Phalaris arundinacea* L.) in dependence on fertilization. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 587 - 595.
- Ross, S. (1994). Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils toxic metals in soli plant systems. 63 - 152.
- Schuldt, M. (2008). *Aplicación de aserrín de madera compostado*. Huánuco: Foros XXI.
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- Villalobos, L. (2012). Fenología, producción y valor nutritivo del pasto alpiste en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 25 - 37.
- Zeahnsdorf, A., Seidel, H., Hoffmann, P., Schlenker, U., & Miller, R. (2013). Acondicionamiento de sedimentos contaminados con metales pesados utilizando plantas como etapa preliminar del proceso de biorremediación: un estudio a gran escala. *J Soils Sediments*, 1106 - 1112.



ANEXOS

Anexo 1
Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín? • ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín? • ¿Cómo influye la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín? 	<p>Objetivo General: Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con metales pesados por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Examinar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín. • Evaluar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín. • Analizar la influencia de la fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín. 	<p>Hipótesis General: La fitorremediación con enmiendas orgánicas influye significativamente disminuyendo la concentración de los metales pesados en el suelo del Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, en un 30%.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Plomo por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva. • La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Cadmio por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva. • La fitorremediación con enmiendas orgánicas en suelos contaminados con Arsénico por el Complejo Metalúrgico La Oroya, Junín, tiene influencia positiva. 	<p>Variable Dependiente: Metales pesados</p> <p>Variable Independiente: Fitorremediación</p>	<p>Tipo de Investigación: Investigación aplicada.</p> <p>Nivel de Investigación: Investigación explicativa.</p> <p>Método General: Método científico</p> <p>Diseño: Experimental.</p>	<p>Población: 105 m² de suelos contaminados con metales pesados.</p> <p>Muestra: 6 muestras de suelos contaminados.</p> <p>Muestreo: Muestreo no probabilístico por conveniencia.</p>	<p>Técnicas: Observación. Ficha de cotejo</p> <p>Instrumentos: Centímetro Pico Lampa Termómetro ambiental GPS Balanza analítica Multiparámetro Espectrofotómetro de absorción atómica</p>

Anexo 2
Instrumento de investigación

Muestreo	Punto de muestreo:	Fecha:	Hora:	Temperatura Ambiental (°C)	Crecimiento de Hojas			Crecimiento de Tallo			
					Aserrín	Cuy	Isla	Aserrín	Cuy	Isla	

Anexo 3 Panel fotográfico



Determinación de la zona de implementación de la fitorremediación con enmiendas orgánicas.



Instalación de la especie *Phalaris aquatica* con enmiendas orgánicas en la zona de estudio.



Crecimiento y desarrollo de las plantas de acuerdo a cada tipo de enmienda orgánica.



Evaluación del crecimiento con guano isla de la especie *Phalaris aquatica*.



Crecimiento final de la especie *Phalaris aquatica*.



Crecimiento de la raíz de la especie *Phalaris aquatica*.