

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES



“FITOEXTRACCIÓN CON Senecio Tephrosioides PARA LA
REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR PLOMO EN
HUANZALÁ - ANCASH”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

Bach. JORGE FRANCIS NOGUEIRA ISLA

Bach. ARTURO ALEJANDRO ALVA CERVANTES

Two handwritten signatures in black ink, one above the other, corresponding to the authors listed.

ASESOR:

MSc. MARÍA PAULINA ALIAGA MARTÍNEZ

A handwritten signature in blue ink, corresponding to the advisor listed.

Callao, 2022

PERÚ

ACTA N° 005-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE

TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

LIBRO N°..... FOLIO N°..... ACTA 005-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

Al 01 día del mes de julio del año 2022, siendo las 17:00 horas, se reunió en la sala Meet: Mg. Eduardo Valdemar Trujillo Flores, Lic. Sergio Leyva Haro y Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la resolución N° 069-2021-D-FIARN y resolución N° 082-2022-D-FIARN, para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:


Mg. Eduardo Valdemar Trujillo Flores	Presidente
Lic. Sergio Leyva Haro	Secretario
Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa	Vocal
M.s.C. María Paulina Aliaga Martínez	Asesora

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Arturo Alejandro Alva Cervantes y Jorge Francis Nogueira Isla, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: "FITOEXTRACCIÓN CON Senecio tephrosioides PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR PLOMO EN HUANZALÁ – ANCASH", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

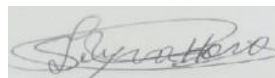
Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por APROBADO con la escala de calificación cualitativa MUY BUENO y calificación cuantitativa diecisiete (17), la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021- CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la sesión a las 18:30 horas del día viernes 01 de julio del año en curso.

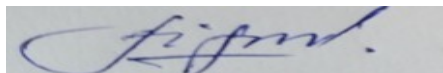
En señal de conformidad firman:



Mg. Eduardo Valdemar Trujillo Flores
Presidente



Lic. Sergio Leyva Haro
Secretario



Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa
Vocal



MSc. María Paulina Aliaga Martínez
Asesora

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por el soporte absoluto y moral a lo largo de mi vida universitaria, puesto que sin su apoyo no hubiese podido realizar esta investigación. Dedico esta tesis a ellos porque me enseñaron que todo se puede lograr con esfuerzo y perseverancia.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao y a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por la oportunidad y confianza ofrecida desde la vez que llegamos a esta facultad.

También queremos agradecer a nuestros maestros por sus enseñanzas para desarrollarnos profesionalmente y habernos brindado todos sus conocimientos a lo largo de nuestra etapa universitaria.

Por último, una tesis es siempre fruto de ideas, esfuerzos y compromisos previos que corresponden a otras personas. En ese sentido nuestro especial agradecimiento para nuestra asesora la MSc. María Aliaga Martínez por su confianza, orientación y experiencia, haciendo posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 . Descripción de la realidad problemática	5
1.2 . Formulación del problema.....	6
1.2.1 Problema general	6
1.3 . Objetivos de la investigación.....	7
1.4 . Limitantes de la investigación	7
II. MARCO TEORICO	8
2.1 . Antecedentes	8
2.2 . Bases teóricas	11
2.2.1 Fitorremediación	11
2.2.2 Mecanismos de fitorremediación	11
2.2.3 Factores de Concentración.....	14
2.2.4 Plantas hiperacumuladoras	15
2.2.5 Metales pesados.....	17
2.2.6 Plomo (Pb).....	18
2.2.7 Movilización de Metales Pesados en el Suelo	18
2.2.8 Biodisponibilidad de metales en el suelo	19
2.2.9 Factores del suelo que afectan la acumulación de metales	19
2.3 Conceptual.....	21
2.3.1 Bioacumulación, translocación y absorción de metales en plantas	21
2.4 Definición de términos básicos	21
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	23
3.1 Hipótesis	23
3.1.1 Hipótesis general	23
3.1.2 Hipótesis específicas	23
3.2 Definición conceptual de variables.....	24
3.2.1 Variable Independiente: Fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i>	24
3.2.2 Variable Dependiente: Suelo contaminado por plomo	24

3.2.3	Operacionalización de variables	25
IV.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
4.1.	Tipo y diseño de investigación	26
4.2.	Método de Investigación	27
4.2.1.	Etapa 1: Muestreo y Preparación de Suelos.....	28
4.2.2.	Etapa 2: Recolección del <i>Senecio tephrosioides</i>	30
4.2.3.	Etapa 3: Caracterización del suelo contaminado.....	30
4.2.4.	Etapa 4: Aplicación de los tratamientos.....	30
4.2.5.	Etapa 5: Monitoreo de parámetros físico-químicos.....	32
4.2.6.	Etapa 6: Evaluación de parámetros de crecimiento y análisis de Pb en la planta. 33	
4.2.7.	Etapa 7: Disposición final de los suelos contaminados al finalizar los tratamientos	33
4.3.	Población y muestra.....	33
4.3.1.	Población.....	33
4.3.2.	Muestra.....	34
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado	34
4.4.1.	Lugar de estudio	34
4.4.2.	Periodo de desarrollo.....	35
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	35
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	35
V.	RESULTADOS	36
5.1.	Resultados descriptivos	36
5.1.1.	Caracterización de suelos.....	36
5.1.2.	Comportamiento de los parámetros físico-químicos del suelo.....	36
5.1.3.	Resultados de los parámetros de crecimiento de las plantas	40
5.1.4.	Resultados de la concentración de plomo en el <i>Senecio tephrosioides</i>	41
5.1.5.	Resultados del Factor de Bioconcentración (BF).....	43
5.2.	Resultados inferenciales	44
5.2.1.	Análisis de datos para la concentración de plomo en el suelo en los tratamientos	44
5.2.2.	Análisis de datos para el Factor de Bioconcentración del <i>Senecio tephrosioides</i> en los diferentes tratamientos.....	46
5.2.3.	Análisis de datos para el porcentaje de fitoextracción de plomo en los tratamientos	49

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	52
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares	53
6.3. Responsabilidad ética	55
VII. CONCLUSIONES.....	56
VIII. RECOMENDACIONES.....	57
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	31
<i>Distribución de los tratamientos.</i>	31
Tabla 2	32
<i>Parámetros físico-químicos del suelo</i>	32
Tabla 3	36
<i>Resultado de la caracterización inicial del suelo contaminado</i>	36
Tabla 4	36
<i>Resultados mensuales de la concentración de plomo en los diferentes tratamientos</i>	36
Tabla 5	37
<i>Resultados del porcentaje de fitoextracción de plomo</i>	37
Tabla 6	38
<i>Resultados mensuales del pH en el suelo en los diferentes tratamientos</i>	38
Tabla 7	39
<i>Resultados mensuales de la C.E. en el suelo en los diferentes tratamientos</i> ..	39
Tabla 8	40
<i>Resultados de los parámetros de crecimiento del Senecio tephrosioides en los diferentes tratamientos</i>	40
Tabla 9	41
<i>Resultados de la concentración de plomo en el Senecio tephrosioides antes de iniciar los tratamientos</i>	41
Tabla 10	42
<i>Resultados de la absorción de plomo promedio por parte del Senecio tephrosioides al finalizar los tratamientos</i>	42
Tabla 11	43
<i>Resultados del índice de bioconcentración al finalizar los tratamientos</i>	43
Tabla 12	44
<i>Estadísticos descriptivos de la concentración de plomo en el suelo</i>	44
Tabla 13	45
<i>Estadística paramétrica</i>	45
Tabla 14	45
<i>Análisis de varianza: Pruebas de efecto inter-sujetos</i>	45

Tabla 15	47
<i>Estadísticos descriptivos del factor de bioconcentración para el tratamiento sin sustrato orgánico.....</i>	<i>47</i>
Tabla 16	47
<i>Prueba de normalidad de datos del grupo de datos de índice de bioconcentración</i>	<i>47</i>
Tabla 17	48
<i>Comparación de medias con T de Student</i>	<i>48</i>
Tabla 18	49
<i>Estadísticos descriptivos del porcentaje de extracción de plomo.....</i>	<i>49</i>
Tabla 19	50
<i>Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....</i>	<i>50</i>
Tabla 20	50
<i>Análisis de varianza</i>	<i>50</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	12
<i>Mecanismo esquemático de la fitoextracción.....</i>	12
Figura 2.....	13
<i>Mecanismo esquemático de la fitoestabilización.....</i>	13
Figura 3.....	17
<i>Especie: Senecio tephrosioides</i>	17
Figura 4.....	27
<i>Diagrama de flujos: Método de Investigación</i>	27
Figura 5.....	28
<i>Muestreo de suelo.....</i>	28
Figura 6.....	29
<i>Preparación de suelo</i>	29
Figura 7.....	29
<i>Cuarteo de muestras de suelo</i>	29
Figura 8.....	30
<i>Recolección de la especie.....</i>	30
Figura 9.....	31
<i>Distribución de los tratamientos</i>	31
Figura 10.....	32
<i>Muestreo de suelos de los tratamientos.....</i>	32
Figura 11.....	33
<i>Evaluación de crecimiento del Senecio tephrosioides</i>	33
Figura 12.....	34
<i>Ubicación del área de estudio.....</i>	34
Figura 13.....	37
<i>Resultados de concentración de plomo en el suelo.....</i>	37
Figura 14.....	38
<i>Resultados del porcentaje promedio de fitoextracción de plomo</i>	38
Figura 15.....	39
<i>Resultados de la variación del pH del suelo en los diferentes tratamientos.....</i>	39

Figura 16.....	40
<i>Resultados de la variación de la C.E. del suelo en los diferentes tratamientos</i>	40
Figura 17.....	41
<i>Resultados de las alturas promedio al inicio y al finalizar los tratamientos</i>	41
Figura 18.....	42
<i>Resultados de la absorción de plomo en las plantas al finalizar los tratamientos</i>	42
Figura 19.....	43
<i>Resultado del factor de bioconcentración de los diferentes tratamientos</i>	43
Figura 20.....	46
<i>Media de escenarios de cada tratamiento</i>	46
Figura 21.....	48
<i>Medias del factor de bioconcentración del suelo sin sustrato orgánico.....</i>	48
Figura 22.....	51
<i>Media de los escenarios de cada tratamiento.....</i>	51

ANEXOS

ANEXO I. Matriz de Consistencia	66
ANEXO II. Informes de caracterización de suelos	67
ANEXO III. Informes de análisis de pH, conductividad y concentración de plomo.	68
ANEXO IV. Informe de análisis foliar inicial	74
ANEXO V. Informe de análisis foliar final	75
ANEXO VI. Ficha de registro de parámetros de crecimiento en la planta.....	76
ANEXO VII. Ficha de registro de los parámetros físico-químicos del suelo.....	77
ANEXO VIII. Registro fotográfico de la Etapa 1: Recolección y Preparación de Suelos	78
ANEXO IX. Registro fotográfico de la Etapa 2: Recolección del <i>Senecio</i> <i>tephrosioides</i>	79
ANEXO X. Registro fotográfico de la Etapa 3: Caracterización del suelo contaminado.....	80
ANEXO XI. Registro fotográfico de la Etapa 4: Aplicación de los tratamientos	81
ANEXO XII. Registro fotográfico de la Etapa 5: Monitoreo de parámetros físico- químicos.....	82
ANEXO XIII. Registro fotográfico de la Etapa 6: Medición de altura, número de ramificaciones, número de hojas y análisis de Pb en las plantas al finalizar los tratamientos	83
ANEXO XIV. Fichas de muestreo de suelo.....	84

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo aplicar la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* para remediar suelos contaminados por plomo en Huanzalá. Se aplicó un diseño experimental en la cual se recolectaron muestras de suelos contaminados por plomo de los alrededores de la zona de influencia de la Unidad Minera Huanzalá. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la UNALM para el análisis de la caracterización y concentración de plomo inicial. Posteriormente esta muestra fue distribuida en cuatro tratamientos, añadiéndose diferentes sustratos orgánicos a los tres primeros y el último sin adición alguna de sustrato; para finalmente trasplantar los plántones de *Senecio tephrosioides* en dichos tratamientos. El experimento fue realizado en una parcela habilitada en el distrito de Huallanca por un periodo de 180 días. Se empleó como instrumento la ficha técnica de recolección de datos. Los resultados evidencian que hay diferencias significativas entre la concentración de plomo inicial y final en los tratamientos, es así que el *Senecio tephrosioides*, presentó mayor porcentaje de fitoextracción (59,1%) en un suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato orgánico, acumulando en sus tejidos un promedio de 218,77 ppm de Pb; asimismo, el *Senecio tephrosioides* en un suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato presentó mayor tasa de crecimiento y adaptabilidad, obteniendo un factor de bioconcentración de 1.44, el cual indica que la planta tiene capacidad de acumular metales en sus tejidos. Por lo tanto, se concluye que la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* puede ser usado como método para remediar suelos contaminado por plomo.

Palabras claves: Fitoextracción, *Senecio tephrosioides*, suelo, remediación, sustrato orgánico, plomo.

ABSTRACT

The objective of this research work was to apply phytoextraction with *Senecio tephrosioides* for the remediation of soils contaminated by lead in Huanzalá. An experimental design was applied in which soil samples contaminated by lead were collected from the surroundings of the area of influence of the Huanzalá Mining Unit. These samples were sent to the UNALM soil laboratory for characterization analysis and initial lead concentration. Subsequently, this sample was distributed in four treatments, adding different organic substrates to the first three and the last without any addition of substrate; to finally transplant the seedlings of *Senecio tephrosioides* in said treatments. The experiment was carried out in a designated plot in the district of Huallanca for a period of 180 days. The technical data collection sheet was used as an instrument. The results show that there are significant differences between the initial and final lead concentration of the treatments, so that *Senecio tephrosioides* presented a higher percentage of phytoextraction (59.1%) in a soil contaminated by lead without the addition of organic substrate, accumulating in their tissues an average of 218.77 ppm of Pb; Likewise, *Senecio tephrosioides* in a contaminated soil without the addition of substrate presented a higher growth rate and adaptability, having a bioconcentration factor of 1.44, which indicates that the plant has the capacity to accumulate metals in its tissues. Therefore, it is concluded that phytoextraction with *Senecio tephrosioides* can be used as a method to remediate soils contaminated by lead.

Key words: Phytoextraction, *Senecio tephrosioides*, soil, remediation, amendment, lead.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de la fitoextracción que es un mecanismo de la fitorremediación que consiste en utilizar plantas acumuladoras de elementos tóxicos, para luego retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes aéreas de las plantas. Este proceso se da por determinadas especies conocidas como “hiperacumuladoras”, capaces de acumular cantidades grandes de metales pesados en sus tejidos.

En el Perú, la contaminación de los suelos por metales pesados es un tema importante debido a la tradición minera que existe en el país desde tiempos remotos generando como consecuencia la alteración de la calidad de aire, agua y suelo. Este es el caso de la Compañía Minera Santa Luisa S.A. que se encuentra operando desde 1968 en la unidad minera de Huanzalá, en el distrito de Huallanca, Bolognesi, Ancash. Dicha unidad minera vierte sus efluentes de manera directa o indirectamente a la cuenca del río Torres, a través de sus canales de drenaje de las aguas ácidas provenientes de las bocaminas, reboses del depósito de relaves, aguas residuales de la planta concentradora, entre otras operaciones mineras, contaminando el suelo y el agua del río Torres y de la laguna Contaycocha con altas concentraciones de plomo y otros metales pesados.

Ante esta problemática, hoy en día existen investigaciones para resolver la contaminación de suelos causada por metales pesados, a través de estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la cualidad de acumular elevadas cantidades de metales pesados, siendo esta una tecnología verde y de bajo costo que permitirá remover los contaminantes presentes en el suelo.

Por ello el presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, aplicar la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* para remediar suelos contaminados por plomo.

Por otro lado, la presente investigación está compuesta por ocho capítulos; en el **Capítulo I**: se describe la realidad problemática que se tiene con la Cia. Minera Santa Luisa en Huanzalá, asimismo se plantean los problemas, objetivos y limitantes de la presente investigación; **Capítulo II**: Marco Teórico; en donde plasmamos los antecedentes de estudios realizados anteriormente, base teóricas y definición de términos básicos; **Capítulo III**: se describen las variables, dimensiones e indicadores de la investigación, así como las hipótesis a contrastar; **Capítulo IV**: se describe la metodología de investigación empleada; **Capítulo V y VI** : se muestran los datos que se obtuvieron para luego hacer la discusión de resultados con estudios similares y el tratamiento estadístico para la contratación de hipótesis; finalmente en los **Capítulos VII y VIII** se describen las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

“La contaminación de un suelo con plomo es preocupante ya que este presenta un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrósfera, atmósfera y biosfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano” (Huang, 1999).

“Los suelos que quedan luego de una explotación minera presentan todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa severos problemas para el desarrollo de la vegetación, siendo sus características más relevantes las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades fisicoquímicas irregulares, disminución o alteración en el contenido de nutrientes principales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, dificultad de enraizamiento, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos” (García y Dorronsoro, 2002)

Un caso emblemático y persistente de contaminación de suelos en Ancash, es de la Compañía Minera Santa Luisa S.A. que se encuentra operando desde 1968 en la unidad minera de Huanzalá, en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, región Ancash, que actualmente produce concentrados polimetálicos como plomo, zinc, cobre entre otros. Dicha unidad minera vierte sus efluentes a la cuenca del río Torres, a través del drenaje de las aguas ácidas provenientes de las bocaminas, reboses del depósito de relaves, aguas residuales de la planta concentradora, entre otras operaciones mineras. Estas actividades minero-metalúrgicas por años han contaminado cerca de 2.3 hectáreas de superficie de suelo aledaños al río Chuspic, Torres y a la laguna Contaycocha con altas concentraciones de metales pesados, asimismo en la margen izquierda del río Torres, existe una zona que ha sufrido los efectos del agua ácida provenientes de la bocamina del nivel C, y aunque en la actualidad estos flujos de agua ya no existen, el suelo presenta una reacción extremadamente ácida así como una capacidad efectiva de intercambio catiónico muy baja por lo que no existe ningún tipo de vegetación.

Por otro lado, se tiene un antiguo depósito de relaves que está expuesto a la acción de las escorrentías pluviales generándose erosión y contaminación de suelos que por lixiviación entran en contacto con superficies antiguas de la cancha de relaves.

En términos generales, los suelos contaminados por el relave minero en la unidad minera de Huanzalá son completamente inertes puesto que en ellos no existe ningún tipo de vida y de acuerdo a los análisis realizados presentan una reacción extremadamente ácida y problemas de sales. Estudio de Impacto Ambiental – Unidad Minera Huanzalá, (2013).

Frente a esta problemática de suelos impactados y contaminados por relaves y vertimientos mineros, surge la necesidad de aplicar un tratamiento especial para recuperar su estado natural, para ello se utilizó la fitoextracción como alternativa de remediación, utilizando el *Senecio tephrosioides*, ya que esta especie tiene la capacidad de acumular elevadas cantidades de plomo en sus tejidos y a su vez se encuentran ampliamente distribuidas alrededor del área de estudio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿La fitoextracción con *Senecio tephrosioides* sería un método adecuado para la remediación de suelos contaminados por plomo?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el factor de bioconcentración de la especie *Senecio tephrosioides* en un suelo contaminado por plomo en Huanzalá?
- ¿Cuál de los tratamientos (suelo contaminado + estiércol de caballo, suelo contaminado + guano de aves y compost, suelo contaminado + humus de lombriz o suelo contaminado sin sustrato orgánico) presentará mayor porcentaje de fitoextracción de plomo

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

- Aplicar la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* para remediar suelo contaminado con plomo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el factor de bioconcentración del *Senecio tephrosioides* para la remediación de suelo contaminado por plomo en cada uno de los tratamientos.
- Determinar el porcentaje de fitoextracción de plomo en cada uno de los tratamientos.

1.4. Limitantes de la investigación

Teórico: Los mecanismos que regulan el transporte del plomo del suelo hacia el *Senecio tephrosioides*, así como los mecanismos de tolerancia de la planta al plomo no son precisados en esta investigación, debido a que su interpretación conlleva a realizar análisis que están fuera del presupuesto.

Espacial: La fitoextracción de metales depende de muchos factores, entre ellos las condiciones climáticas y la composición de los suelos, por lo que este estudio carece de pruebas para ser replicados a otros suelos que no tengan las características desarrolladas en esta investigación, sin embargo, los resultados y conclusiones de esta investigación pueden aportar para dar soporte teórico a investigaciones similares.

Temporal: Los procesos fisicoquímicos y biológicos que describen el comportamiento del plomo en el suelo y planta son cambiantes en el tiempo, la especiación química del plomo, así como la biodisponibilidad de este metal para la planta, es variable. Debido a los recursos asignados para esta investigación, no fue factible la evaluación del comportamiento del plomo en el suelo y en la planta, pero si se obtuvieron datos iniciales y finales para dar un alcance general del proceso de absorción de plomo en el suelo por parte del *Senecio tephrosioides* y así poder contrastar las hipótesis.

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Internacionales

Durán (2010) en su investigación “Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana”, desarrolló la búsqueda, identificación, análisis y descripción de plantas crecidas en zonas mineras. Según los resultados que se dio en la mina Carolina, en el Distrito de Hualgayoc, Provincia de Cajamarca (Perú), concluyó que las plantas *Bidens triplinervia*, *Senecio sp.*, *Sonchus oleraceus*, *Baccharis latifolia*, *Plantago orbignyana* y *Lepidium bipinnatifidum* son capaces de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados teniendo la habilidad de acumularlos en sus tejidos.

Bech et al. (2012) evaluó la acumulación de plomo y de zinc con fines de fitorremediación en las especies *Bidens triplinervia* y *Senecio sp.*, en donde las muestras de suelo y de ambas especies vegetales fueron tomadas de una mina polimetálica (principalmente de plata, plomo y cobre) en la región de Cajamarca, distrito de Hualgayoc. Dicha investigación concluye que la especie *Bidens triplinervia* fitoacumula en sus raíces concentraciones mucho más elevadas de plomo y zinc en comparación con el *Senecio sp.*, siendo recomendada su aplicación en la fitoestabilización, sin embargo, la especie *Senecio sp.* fue capaz de fitoacumular cerca de 4000 mg/Kg de plomo en sus hojas, siendo recomendada su aplicación para la fitoextracción de plomo en suelos contaminados.

Nacionales

En el trabajo de investigación realizado por **Panez (2013)**, “Propuesta para la restauración de suelos contaminados por metales pesados afectados por la actividad minera mediante el uso de fitorremediación”, tuvo como objetivo plantear propuestas de recuperación de los suelos contaminados por metales pesados afectados por las actividades mineras mediante el uso de plantas fitorremediadoras, utilizando como área de trabajo la cancha de relave de

Morococha. En su trabajo de investigación usó plantas nativas propias del lugar; y con ello obtuvo como resultado que la mayoría de las especies tenían una eficiencia de fitorremediación media alta, como la *Calamagrostis Vicunarium* que mostró la capacidad de acumulación de 1805 ppm de Pb, concluyendo que las plantas son capaces de adecuarse al ambiente por más opuesto a su naturaleza que esta sea; además de mejorar su entorno para su proliferación y supervivencia.

Chávez (2014) en su tesis “Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo” , recolectó 37 especímenes de plantas, de 12 lugares alrededores de la ciudad de La Oroya y el lago Junín, lo cuales se encuentran con residuos mineros, escogiendo dos especies de las clases *Calamagrostis* y *Nicotiana* ; para su siembra empleó tres concentraciones distintas de plomo : 700 ppm, 1000 ppm y 1200 ppm, en donde alrededor de estas especies fue cultivado el *Vetiver (Vetiveria zizanoides)* a fin de comparar su potencial fitorremediador con el de las especies nativas. De dicha investigación; concluye que la *Nicotiana* tiene potencial como especie fitorremediadora esto a causa de su elaboración de biomasa volátil y capacidad innata de translocar metales pesados hacia las partes aéreas. Se pudo contrastar que las especies nativas son las más adecuadas para remediar áreas naturales.

Dextre (2017) en su investigación “Acumulación de metales pesados en *Senecio rufescens* DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú”, tuvo como objetivos determinar la concentración de As, Cd, Cu y Pb en la parte aérea y en las raíces del *Senecio rufescens*, asimismo determinar qué parte de la planta acumula más metales y relacionarlo con las concentraciones respectivas de metales en los suelos. Los resultados muestran que la concentración de cobre y arsénico en los tallos y hojas de las plantas de *S. rufescens* de Churuca es significativamente mayor al de la población de Ticticocha, mientras que las cantidades de cadmio y plomo registradas en la parte aérea y la raíz de *S. rufescens* no muestran diferencias entre ambas localidades. El análisis de los factores de bioconcentración y factor de traslocación reveló que *S. rufescens* absorbe excelentemente arsénico y plomo en sus raíces, pero la acumulación de los demás metales en la parte aérea es

limitada. Finalmente concluye que los (FBC) y (FT) para arsénico y plomo son menores a 1, por tanto, se propone a *S. rufescens* como una especie excluyente de arsénico y plomo recomendándose para estudios de fitoestabilización de suelos contaminados.

Papuico (2018) en su tesis “Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas” tuvo como objetivo, determinar si es factible utilizar la fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai en la relavera de Quiulacocha, para ello determinó la concentración de metales pesados en las raíces y en la parte aérea de la planta A y planta B. Teniendo como resultado en cuanto a la acumulación de plomo en el Punto A-Hoja con 436.25 mg/kg, Punto B-Hoja con 209.20 mg/kg y Punto A – Raíz con 80.47 mg/kg, Punto B – Raíz con 76.9 mg/kg. Asimismo, se observa que en las hojas se encuentran más concentrados los metales pesados en comparación con la raíz. Finalmente concluye que el *Senecio rudbeckiaefolius* bioacumula metales y tiene la facultad de ser utilizado para la fitorremediación de suelo con contenido metálico.

Gómez (2019) en su investigación “Absorción de metales en la planta *Senecio collinus* en suelos disturbados y no disturbados en la zona de la Laguna Yanamate, con la finalidad de realizar una remediación ambiental”, tuvo como objetivo analizar los metales presentes (Pb, Cu, Fe, Zn y Mn) en muestras de *Senecio collinus*, recolectados de suelos disturbados y no disturbados en la zona de influencia de la laguna Yanamate. Concluye que el *Senecio collinus* es una especie con capacidad de bioacumular metales pesados, asimismo muestra capacidad de adaptarse fácilmente en suelos disturbados.

Huaranga y Vasquez (2019) en su investigación “Evaluación de contenidos metálicos en las especies altoandinas *Calamagrostis rigida*, *Trisetum spicatum* y *Senecio rufescens* en el entorno de la laguna de Yanamate, para determinar su potencial fitorremediador - Pasco – 2019”, evaluó el contenido de Pb, Cd, Cu, Fe y Zn en los tejidos de las especies altoandinas *Senecio rufescens*, *Trisetum spicatum* y *Calamagrostis rigida*, que crecen alrededor de la laguna de Yanamate

en Pasco, para determinar el potencial fitorremediador de estas especies, concluyendo que las especies altoandinas *Senecio rufescens*, *Trisetum spicatum* y *Calamagrostis rigida* presentan mayor contenido de Cu, Fe, Zn, Pb y Cd acumulada principalmente en sus raíces, definiéndose con alto potencial fitorremediador en su categoría fitoestabilizador.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Fitorremediación

El término “fitorremediación” es una combinación de dos palabras: El griego phyto (que quiere decir planta) y el latín remedium (que quiere decir corregir o remover un mal). Las plantas verdes tienen una enorme habilidad de consumir contaminantes desde el ambiente y realizar su desoxidación por varios mecanismos.

“La fitorremediación básicamente se refiere al uso de plantas y asociaciones de microorganismos del suelo para reducir las concentraciones o efectos tóxicos de contaminantes en el ambiente”. Greipsson (2011, p. 7). “La principal ventaja de la fitorremediación es su bajo costo en comparación a las técnicas de ingeniería, por ejemplo, la fitorremediación solo cuesta cerca de \$5-\$40 por tonelada de suelo”. Lasat (2000).

2.2.2 Mecanismos de fitorremediación

A. Fitoextracción

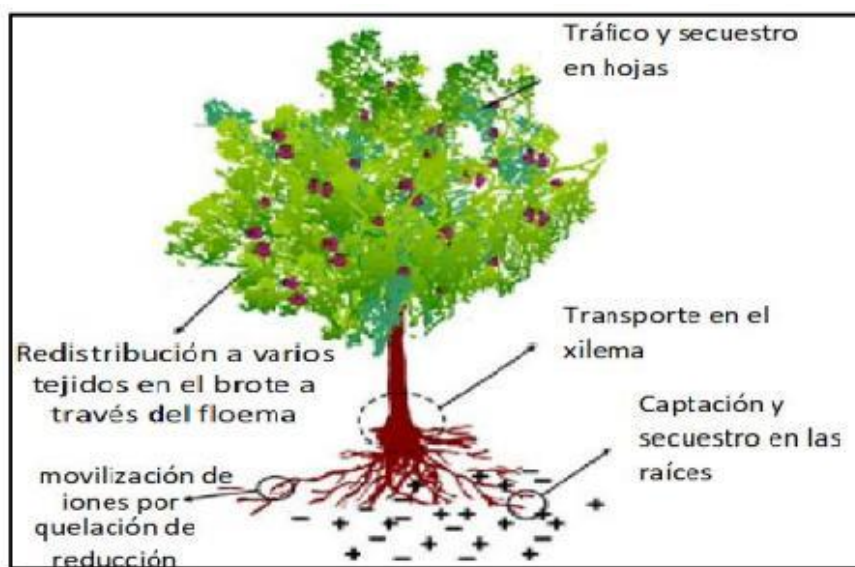
Según López (2014), es el uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables. “Este proceso es llevado a cabo por determinadas especies conocidas como “hiperacumuladoras”, capaces de almacenar grandes cantidades de metales pesados en sus tejidos”. Sánchez (2015).

Posterior a la extracción del contaminante realizado por la planta, se retirará la cosecha, ahora convertida en biomasa enriquecida por el metal pesado que contaminaba el suelo. Luego, se llevará a cabo el tratamiento de la cosecha; por

compostaje, compresión o tratamientos termales, por ejemplo, para reducir el volumen y/o el peso de biomasa. Por último, esta materia prima se procesará como si se tratara de un residuo peligroso, o se reciclará para recuperar los elementos que podrán tener valor económico. Vangronsveld et al. (2009). “La fitoextracción mediante plantas hiperacumuladoras permite evitar excavaciones extensivas, elevados costos o pérdidas de suelo superficial, asociadas con las prácticas de remediación tradicional”. Blaylock et al. (1997, p. 862).

Figura 1

Mecanismo esquemático de la fitoextracción.



Nota. Adaptado de Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. Water, Air, & Soil Pollution (p.105), por Padmavathiamma, K. y Li, L., 2007, Revista Scielo, 1(184).

B. Fitoestabilización

La fitoestabilización permite inmovilizar elementos o compuestos contaminantes en el suelo a través de su absorción y bioacumulación en las raíces o precipitación en la zona de la rizósfera. “Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire”. Mendez y Maier (2008, p. 281). “La fitoestabilización es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica”. Padmavathiamma y Li (2007, p. 105).

Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial.

Figura 2

Mecanismo esquemático de la fitoestabilización



Nota. Adaptado de *Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. Water, Air, & Soil Pollution* (p.105), por Padmavathiamma, K. y Li, L., 2007, Revista Scielo, 1(184).

C. Fitovolatilización

La fitovolatilización es el consumo de contaminantes desde el suelo por parte de las plantas, su conversión a la forma volátil y su posterior liberación dentro de la atmósfera. “Esta técnica puede ser usada para contaminantes orgánicos y en algunos metales pesados como el Hg y Se. Sin embargo, su uso está limitado por el hecho de que no remueve la sustancia contaminante completamente, solo es transferido desde un segmento (suelo) a otro (atmósfera) desde donde puede ser re-depositado”. Padmavathiamma y Li (2007, p. 106).

A. Fitodegradación

“La fitodegradación es la degradación de contaminantes orgánicos por plantas con la ayuda de enzimas tales como la deshalogenasa y la oxigenasa, el cual no es dependiente de microorganismos rizoféricos”. Vishnoi y Srivastava (2008, p. 1016). La fitodegradación está limitada solo a remover contaminantes orgánicos debido a que los metales pesados son no biodegradables.

2.2.3 Factores de Concentración

“Para conocer la capacidad que tienen las plantas de absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea, existen ciertos factores”. Lokeshwari y Chandrappa (2006).

A. Factor de Bioconcentración (BF)

Llamado también Coeficiente de absorción biológica (BAC), Coeficiente de Transferencia (TC) o Factor de Concentración (Cf). Asimismo, Perez-Sirvent (2008, p. 1668), define el factor de bioconcentración como la relación de la concentración de metales en la planta, respecto a la concentración total de metales en el suelo. Se utiliza para medir la capacidad de acumular un metal por una planta (raíz y parte aérea) con relación a su concentración en el suelo. “Para las plantas el factor de bioacumulación, se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa, donde valores mayores a 1 indican que las especies son potencialmente hiperacumuladoras y aquellas especies exclusoras poseen un BCF menores a 1, cuanto más menor sea este valor, mayor es su capacidad de exclusión” (Montano & Medina, 2014).

$$BF = \frac{\text{Concentración en el tejido de la Planta}}{\text{Concentración en el suelo}}$$

B. Factor de Transferencia (FT)

“Relaciona la acumulación de metales en la parte aérea con respecto a la raíz y es usado para medir la efectividad de la planta en la translocación de metales pesados desde la raíz hacia la parte aérea”. Sun et al. (2008, p. 1105).

C. Factor de Remediación (RC)

También es conocido como Bioaccumulation factor (BAF). “Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto a la superficie del suelo” Vyslouzilova et al. (2003, p. 193). “Este índice puede otorgar una indicación si la planta es apta para los procesos de fitoextracción”. Whitfield y Zeeb, (2010). Si este índice es mayor que 1, el objetivo de la remediación se da por concluido y la eliminación de la vegetación contaminada sería más económica que la eliminación del suelo contaminado. Si este índice es menor a uno, podría ser aceptable, por ejemplo, cuando se hace compactación antes de transportar los desechos de la planta fuera del sitio para reducir el volumen del material vegetal a extraer y por lo tanto aumenta la concentración de los contaminantes en el proceso final de la fitoextracción. Sas-Nowosielska et al. (2004).

2.2.4 Plantas hiperacumuladoras

“Las hiperacumuladoras son plantas que tienen una capacidad innata para absorber metales en niveles de 50 a 500 veces mucho mayor que las plantas promedio” Lasat, (2000, p. 112). Son a menudo encontradas en regiones ricas en metales en donde este rasgo les da una ventaja competitiva. Evans (2003).

“Cerca de 500 especies de plantas comprendidas en 101 familias han sido reportadas como hiperacumuladoras, incluyendo miembros de Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Cumouniaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Lamiaceae, Poaceae, Violaceae and Euphobiaceae” (Sarma, 2011, p. 118). “Especies de plantas hiperacumuladoras de metales han atraído un interés considerable de investigación durante los últimos años debido a su evidente interés para remediar suelos contaminados”. Rascio y Navari-Izzo, (2011).

Senecio sp.

“Senecio es un género perteneciente a la familia Asteraceae de gran difusión en Sudamérica. Se ha encontrado desde el desierto hasta los Andes. Está representado por 180 especies, muchas de las cuales son endémicas y de limitada distribución geográfica”. Beltran, (2002, p. 35). “Para el Perú han sido

registradas 177 especies, las que ocupan diversos ambientes ecológicos, desde la costa desértica, lomas, matorrales xerofíticos, valles interandinos hasta la puna, en el límite de la vegetación. Muchas de estas especies presentan distribución restringida y están consideradas como endémicas”. Vision y Dillon, (1996, p. 193).

“Las especies de *Senecio* se encuentran en la costa y sierra del Perú, donde son denominadas bajo el mismo nombre común de “Huamanripa” o “Huirahuirá” y comparten características morfológicas similares (*Senecio calvus*, *S. tephrosioides*, *S. comosus*, *S. rhizomattus*, *S. klatti*, etc). Las especies de este género representan aproximadamente el 60% de la diversidad de *Senecio* en Sudamérica. Florián” (2014).

Senecio tephrosioides

Características del *Senecio tephrosioides* según Loja (2002)

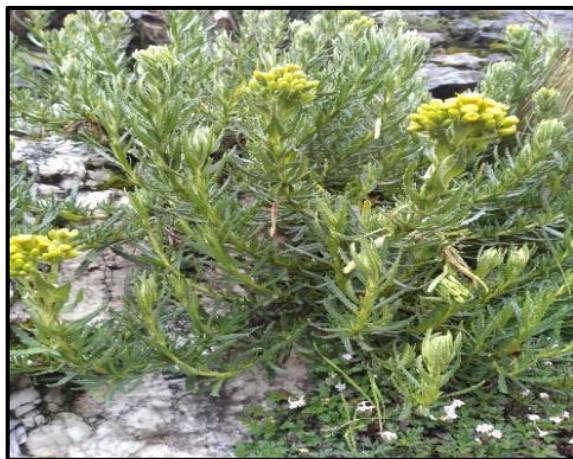
- Es una hierba perenne rizomatosa, de altura entre 25-40 cm, con tallo escapiforme.
- Hojas basales semiarrosetadas, y el peciolo desarrolla entre 3-5 cm de largo, violácea clara membranácea y glabra, limbo oblongo espatulado y oblongo lanceolado, 6-9 x 0,5- 2 cm.
- Flores amarillas, actinomorfas, isomorfas, hermafroditas; corola tubulosa amarillenta, pentadentada; anteras concrecentes, ápice apendiculado, base obtusa, filamentos lacrimiformes. Aquenio cilíndrico y glabro.
- En cuanto a su hábitat, vive en la puna entre gramíneas en zonas rocosas, florecen en abril y mayo, crece protegida entre rocas arriba de los 3000-4500m en los departamentos de Piura, Ancash, Cusco, Puno.

Revisando la bibliografía, se pudo notar que el *Senecio tephrosioides* no es la única especie con ese nombre común de “huamanripa”, en un estudio publicado por Beltrán y Roque en el 2015, indican que la especie *Senecio violaefolius*, es llamada comúnmente como “huamanripa” y “wamanlipa” en las zonas altoandinas desde el centro del Perú hasta Bolivia.

Asimismo, el *Senecio arachnolomus*, también es conocida como “huamanripa”, la especie fue colectada en Ancash donde mediante entrevistas etnobotánicas obtuvieron información del nombre común. Esta especie es endémica del Perú, y es utilizada por los pobladores como hierba medicinal de manera similar a las otras especies del género *Senecio*. Beltrán y Roque (2015). Los pobladores de Ancash tratan y calman sus dolencias mediante el uso de estas plantas puesto que tienen propiedades antiinflamatorias, debido a fitoconstituyentes que tiene la planta como: flavonoides y alcaloides.

Figura 3

Especie: *Senecio tephrosioides*



2.2.5 Metales pesados

“Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad de 4 g/cm³ a 7 g/cm³. Existen dos grupos de metales pesados: Los micronutrientes que son necesarios en mínimas cantidades para los seres vivos, pero dañinos cuando son en exceso; incluyen As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn; por otro lado, los metales pesados sin ejercicio biológico que son altamente dañinos y tienen la propiedad de acumularse en los seres vivos. Son principalmente Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb y Bi” (Herrera, 2009). “A diferencia de los contaminantes orgánicos, el impacto ambiental de la contaminación por metales se acentúa por no ser biodegradables” (Lasat, 2002, p. 112). “Su permanencia en los ecosistemas provoca diversos agudos efectos en la biota”. Cordero et al. (2005, p. 328).

2.2.6 Plomo (Pb)

“Se encuentra en el grupo IV-A de la tabla periódica. El plomo es un metal gris azulino encontrándose de manera natural y en mínimas cantidades (0.002%) en la corteza terrestre. El plomo es obtenido de la galena, anglesita y curocita. El uso más importante que se le da al plomo es para la fabricación de acumuladores; asimismo es usado para la fabricación de pinturas, cerámicas, insumos de construcción, vidrios especiales, pigmentos, varillas de soldar y municiones” ATSDR (2005).

“Cada vez va en aumento la extracción de plomo siendo Australia y EUA los líderes mundiales en la producción de plomo; Rusia, China, Canadá y Perú son grandes mineros del plomo en su estado natural”. Ladou, (1999).

- **Efectos del plomo a la salud**

“El plomo altera el desarrollo del sistema nervioso central del feto y en neonatos el plomo daña los nervios periféricos y al cerebro. Asimismo, el plomo perjudica el hígado, el riñón, el sistema reproductivo además de afectar también procesos fundamentales del funcionamiento celular del cerebro” Martínez y Palacio (2010).

- **Efectos del plomo en el ambiente**

Cuando el plomo se acumula en la superficie edáfica genera impactos negativos en la actividad biológica de los suelos, inhibiendo metabolismos microbianos y acumulándose en la flora y fauna edáfica. Los herbívoros son intoxicados al consumir vegetales que tienen concentraciones altas de plomo soluble. La contaminación de plomo en la biota está afectada por las características edáficas, puesto que valores altos de pH, CIC, contenidos en materia orgánica o arcillas disminuyen el metal disponible para la vegetación. Rábago (2011).

2.2.7 Movilización de Metales Pesados en el Suelo

“Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de

deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad”. Sauquillo *et al.* (2003, p. 155).

García y Dorronsoro (2005), menciona que los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Se quedan en el suelo disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o adsorbidos sobre compuestos inorgánicos del suelo, unidos con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos.
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse hacia las aguas superficiales o subterráneas.

2.2.8 Biodisponibilidad de metales en el suelo

“Capacidad de un elemento para pasar de un compartimento cualquiera del suelo a un ser vivo”. López y Grau (2005). Esta movilidad, que se define como la “aptitud de transferencia de metales entre compartimentos, está determinada por la forma, el número de cargas y la energía de retención de los metales pesados” Reid (2001, p. 1395); se ve influenciada por factores externos como: pH, temperatura, humedad, ambiente químico, entre otros.

2.2.9 Factores del suelo que afectan la acumulación de metales

Existen factores que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales.

- **pH**

“El pH es uno de los parámetros más importante para definir la movilidad del catión” Wong (2003). Principalmente las particiones más móviles de iones ocurren en los rangos menores de pH. La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles a pH ácido.

Pero en general, con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en

la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos, Kabata y Pendias (2000).

- **Condiciones Redox**

El potencial Redox es el encargado de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y del cambio directo en la valencia de ciertos metales. Por lo general, las condiciones Redox afectan indirectamente la movilidad de los metales, siendo más solubles en medios reducidos.

- **Textura y estructura**

La textura como la estructura del suelo son factores importantes en la infiltración, adsorción y/o pérdida de los metales pesados en el suelo. Alloway (1995). “Las arcillas pueden retener los metales pesados en las posiciones de cambio, impidiendo su paso a los niveles freáticos” López y Grau (2005).

- **Materia Orgánica**

Para los procesos de adsorción del suelo, la materia orgánica tiene una gran importancia actuando como ligandos en los complejos de intercambio, a través de la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil, Pilon (2005). Por lo tanto, la complejación que se da por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan la solubilidad de metales pesados.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

“Cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos expresados como moles de carga positiva por unidad de peso del mineral, está muy condicionada por la cantidad, tipo de arcilla y la materia orgánica. Cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. McBride” (1994, p.644)

- **Conductividad eléctrica**

Los suelos con elevada conductividad eléctrica, impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen una elevada cantidad de sales (Garrido, 1994). En la evaluación de la toxicidad de suelos con fuerte absorción de metales pesados, los efectos de salinidad podrían contribuir significativamente a la disponibilidad de metales y su toxicidad (Stevens et al., 2003).

2.3 Conceptual

2.3.1 Bioacumulación, translocación y absorción de metales en plantas

“La capacidad de absorción del suelo, las condiciones redox, la materia orgánica y el pH son los principales factores del suelo que afectan la absorción de metales pesados por las plantas. Un aspecto importante a tratar es la biodisponibilidad del metal en el suelo como factor principalmente predominante sobre otros factores, incluyendo diferencias de genotipo significativas, en la captación y acumulación de metales en las plantas. Varias investigaciones han explicado que la absorción de metales pesados por las plantas se asocia positivamente con la concentración biodisponible de metales pesados en el suelo” Xiao et al. (2017, pp. 868-878).

2.4 Definición de términos básicos

Bioacumulación

Capacidad de la planta para absorber contaminantes del suelo y concentrarlos en sus tejidos.

Caracterización del suelo contaminado

Técnica que permite conocer posibles afecciones que se hayan provocado sobre el suelo, mediante estudios y análisis de parámetros contaminantes que afecten al mismo.

Contaminación

“La contaminación es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas”. Bermúdez (2010).

Contaminante

“Cualquier sustancia química relacionada a actividades antrópicas susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente” (MINAM, D.S N°012-2017).

Fitoextracción

Capacidad de las plantas de extraer los elementos o compuestos contaminantes hacia la parte superior (tallo y hojas) para su eliminación.

Plantones

Rama, tallo o planta joven que ha de ser trasplantado para que arraigue.

Remediación

“Eliminación o reducción, a niveles aceptables, de los riesgos para la salud de las personas o el ambiente asociados a la contaminación del sitio. Además, comprende las acciones que permitan lograr el uso posterior del sitio o el restablecimiento del mismo a un estado similar al presentado antes de ocurrir los impactos ambientales negativos” (MINAM, D.S N°012-2017).

Sustrato orgánico

Sustancia sólida o líquida formado a través de procesos biológicos con potencial de devolver sus características fisicoquímicas a suelos degradados.

Translocación

Capacidad de las plantas de transportar los contaminantes hacia sus tallos y hojas.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Ho: La aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* no remedia suelo contaminado con plomo

Ha: La aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* remedia suelo contaminado con plomo

3.1.2 Hipótesis específicas

Ho1: La especie *Senecio tephrosioides* no tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico.

Ha1: La especie *Senecio tephrosioides* tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico

Ho2: El porcentaje de fitoextracción de plomo en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico no es mayor que los demás tratamientos.

Ha2: El porcentaje de fitoextracción de plomo en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico es mayor que los demás tratamientos.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1 Variable Independiente: Fitoextracción con *Senecio tephrosioides*

“La fitoextracción consiste en la absorción y translocación de los metales del suelo a las raíces y posteriormente hasta la parte aérea de la planta” (Ramírez, 2015, p.118), esta capacidad de acumular plomo es medible a través del factor de bioconcentración y dependerá también de los parámetros de crecimiento de la planta (altura, biomasa, ramificaciones, entre otros).

3.2.2 Variable Dependiente: Suelo contaminado por plomo

“Un suelo está contaminado cuando las características físico-químicas (tales como el pH y la conductividad eléctrica), y características biológicas iniciales han sido impactadas o alteradas de manera negativa, debido a la presencia de componentes tóxicos en altas concentraciones como es el plomo” (Cepeda, 2003).

3.2.3 Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
VARIABLE INDEPENDIENTE: Fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i>	Consiste en determinar la capacidad de absorción de la planta mediante el análisis de concentración de plomo en las hojas, tallo y raíz del <i>Senecio tephrosioides</i> antes y al finalizar los tratamientos.	Fitoextracción de plomo	$\% \text{ Fitoextracción de Pb} = \frac{[\text{Pb}]_{\text{inicial}} - [\text{Pb}]_{\text{final}}}{[\text{Pb}]_{\text{inicial}}} \times 100$	%
		Capacidad de acumular plomo	Factor de Bioconcentración (BF)	-
	A su vez evaluar el crecimiento y desarrollo del <i>Senecio tephrosioides</i> mediante indicadores como altura de la planta, número de hojas y número de ramificaciones.	Parámetros de crecimiento del <i>Senecio tephrosioides</i>	Número de hojas	-
			Número de ramificaciones	-
			Altura de la planta	cm
VARIABLE DEPENDIENTE: Suelo contaminado por plomo	Consiste en realizar un análisis inicial y final de la concentración de plomo y características fisicoquímicas del suelo en los diferentes tratamientos.	Concentración de plomo en el suelo	Concentración de plomo inicial	ppm
			Concentración de plomo final	ppm
		Características físico-químicas del suelo	Conductividad eléctrica (C.E)	dS/m
			pH	-

IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, aplicada, de campo y cuantitativa ya que se manipulará intencionalmente el *Senecio tephrosioides* con diferentes tratamientos para luego medir el efecto de remediación del suelo.

Diseño de investigación

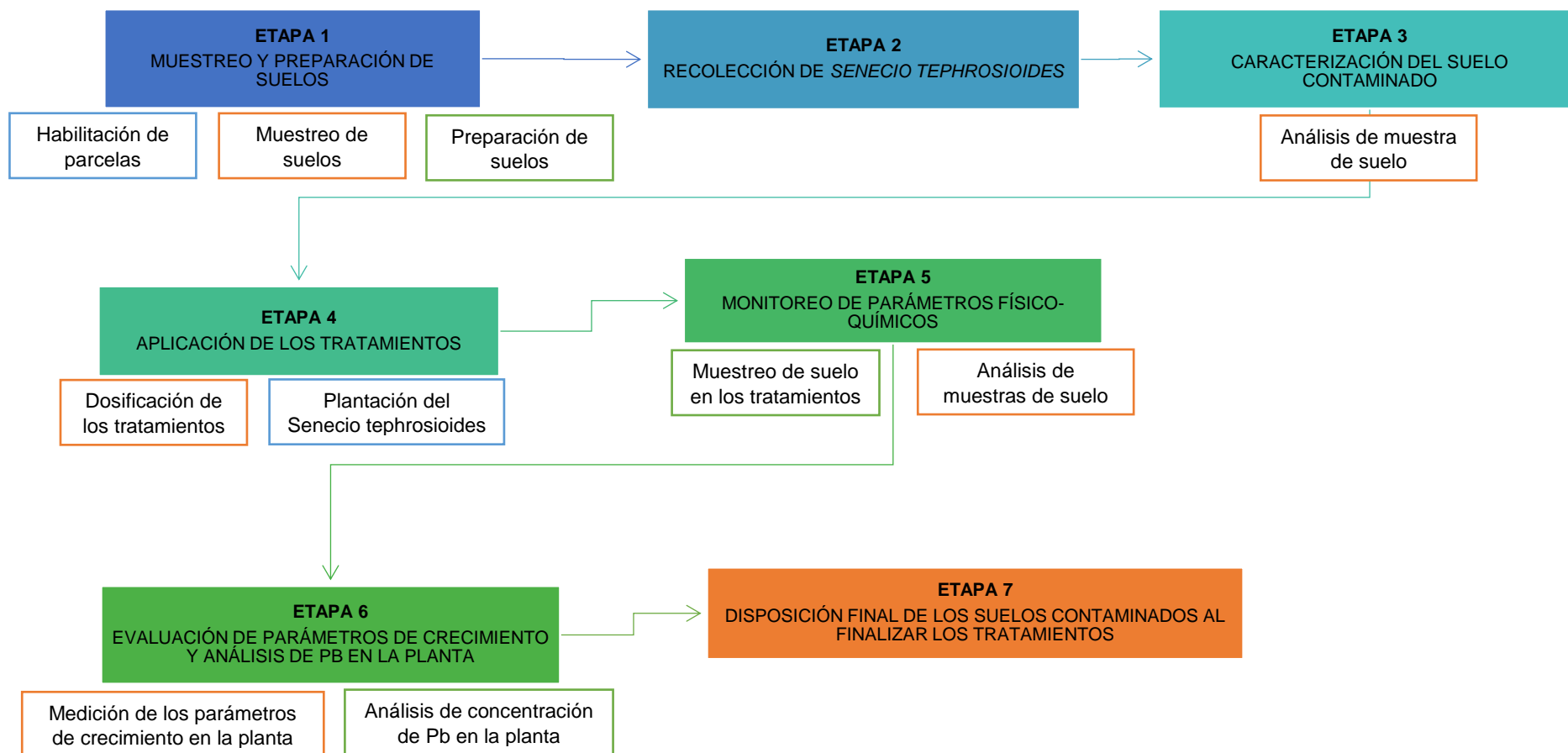
El diseño de la presente investigación obedece a un modelo experimental debido a que se estudia la variable X= (fitoextracción con *Senecio tephrosioides*) como causa y la variable Y= (suelo contaminado por plomo) como efecto.

4.2. Método de Investigación

En la figura 4, se observa el diagrama de flujos del método de investigación.

Figura 4

Diagrama de flujo: Método de Investigación



4.2.1. Etapa 1: Muestreo y Preparación de Suelos

Habilitación de parcela

Previamente se habilitó una parcela de 2,5m x 3m (ancho y largo), para el desarrollo de la parte experimental. En donde se colocó las macetas de muestras con sus respectivos tratamientos.

Muestreo de suelos

Se realizó el reconocimiento general de la zona, para lo cual se hizo un recorrido del lugar de estudio con la finalidad de ubicar los puntos más adecuados de muestreo tomando en consideración la contaminación de medio.

Alrededor de la unidad minera Huanzalá, se tomaron 5 muestras simples de suelo contaminado a una profundidad promedio de 35 cm. Para ello se realizó el muestreo de identificación y se utilizó la técnica de muestreo superficial mediante sondeos manuales, según la Guía para muestreo de suelos –MINAM.

Figura 5

Muestreo de suelo



Nota. Se tomó muestras de suelo de diferentes puntos alrededor de la Unidad Minera. (Ver Anexo XIV)

Preparación de los suelos

Una vez muestreado el suelo, fueron homogenizadas en una manta de polietileno mediante la técnica de cuarteo, luego se procedió a tamizar para eliminar restos de material rocoso, malezas y residuos.

Figura 6

Preparación de suelo



Nota. Se procedió a tamizar la muestra de suelo.

Figura 7

Cuarteo de muestras de suelo



Nota. Se realizó la homogenización de muestra de tal manera que sea representativa

4.2.2. Etapa 2: Recolección del *Senecio tephrosioides*

Para la recolección de la especie se eligió el muestreo basándose de acuerdo a los criterios establecidos por Bech et al. (2002) entre los que se considera: amplia cobertura vegetal, color y textura del suelo, síntomas de fitotoxicidad de la especie y distancia de la mina.

Asimismo, se tomaron muestras de *Senecio tephrosioides* para el análisis respectivo de plomo inicial contenido en dicha muestra.

Figura 8

Recolección de la especie



Nota. Se extrae la especie de suelos no contaminados para trasplantar a maceteros

4.2.3. Etapa 3: Caracterización del suelo contaminado

En esta etapa se caracterizó el suelo contaminado a tratar en base a sus componentes físicos y químicos, para ello se llevó las muestras al laboratorio de suelos de la UNALM. Se muestran los resultados de caracterización de suelos (véase el Anexo II) usados en nuestro experimento.

4.2.4. Etapa 4: Aplicación de los tratamientos

Se instaló 12 macetas circulares de plástico de diámetro 34 cm y 14 cm de altura, con capacidad de 10 kg cada una, las cuales fueron empleadas para la

distribución de los tratamientos (ver Tabla 1). Posteriormente fueron trasplantados 3 plantones por cada macetero, esto para mejorar la supervivencia de la planta, pues si se marchitaba una planta quedarían dos que podrían seguir creciendo. Una vez etiquetados y dosificados las macetas fueron ubicadas en la parcela.

Tabla 1

Distribución de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	CÓDIGO	DOSIFICACIÓN POR MACETA	REPETICIONES
T1: Suelo con guano de ave y compost	GAC	9kg de suelo contaminado con Pb + 1kg de guano de ave y compost	3
T2: Suelo con estiércol de caballo	GC	9kg de suelo contaminado con Pb + 1kg de estiércol de caballo	3
T3: Suelo con humus de lombriz	HL	9kg de suelo contaminado con Pb + 1kg de humus de lombriz	3
T4: Suelo contaminado sin sustrato orgánico	MSC	10kg de suelo contaminado con Pb sin sustrato orgánico	3

Figura 9

Distribución de los tratamientos



4.2.5. Etapa 5: Monitoreo de parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos que se analizaron en los suelos a tratar se encuentran descritos en la Tabla 2, las muestras de suelos fueron enviados para su análisis al Laboratorio de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Tabla 2

Parámetros físico-químicos del suelo

Parámetro físico	Unidad	Frecuencia de medición	Método de ensayo
Conductividad eléctrica	dS/m	Mensual	Extracto de saturación
Parámetro químico	Unidad	Frecuencia de medición	Método de ensayo
[Pb]suelo	ppm	Mensual	EPA 3050
pH	-	Mensual	Relación agua-suelo 1:1

Figura 10

Muestreo de suelos de los tratamientos.



Nota. Muestreo de suelo de los diferentes tratamientos para luego ser analizados en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

4.2.6. Etapa 6: Evaluación de parámetros de crecimiento y análisis de Pb en la planta.

Al iniciar y finalizar la parte experimental, se tomaron las medidas del tamaño de las plantas, número de hojas y número de ramificaciones; asimismo al finalizar los tratamientos se analizaron la concentración de plomo en el *Senecio tephrosioides* a través del Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Figura 11

Evaluación de crecimiento del Senecio tephrosioides



4.2.7. Etapa 7: Disposición final de los suelos contaminados al finalizar los tratamientos

Los suelos contaminados con plomo se conservaron en bolsas rojas, las cuales fueron etiquetadas como residuos peligrosos, estos suelos serán sustratos para futuras investigaciones en remediación de suelos contaminados con Pb; se tomaron las medidas de seguridad necesarias para disminuir posibles riesgos a la salud de las personas y daños al medio ambiente.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Suelos contaminados con plomo aledaño a la Unidad Minera Huanzalá explotada por la CIA Minera Santa Luisa, ubicado en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, Ancash.

4.3.2. Muestra

El tamaño de la muestra está constituido por 12 unidades experimentales (n=12 macetas). Para ello se requiere 120 kg de suelo, distribuidos en 12 macetas circulares con capacidad de 10 kg por maceta.

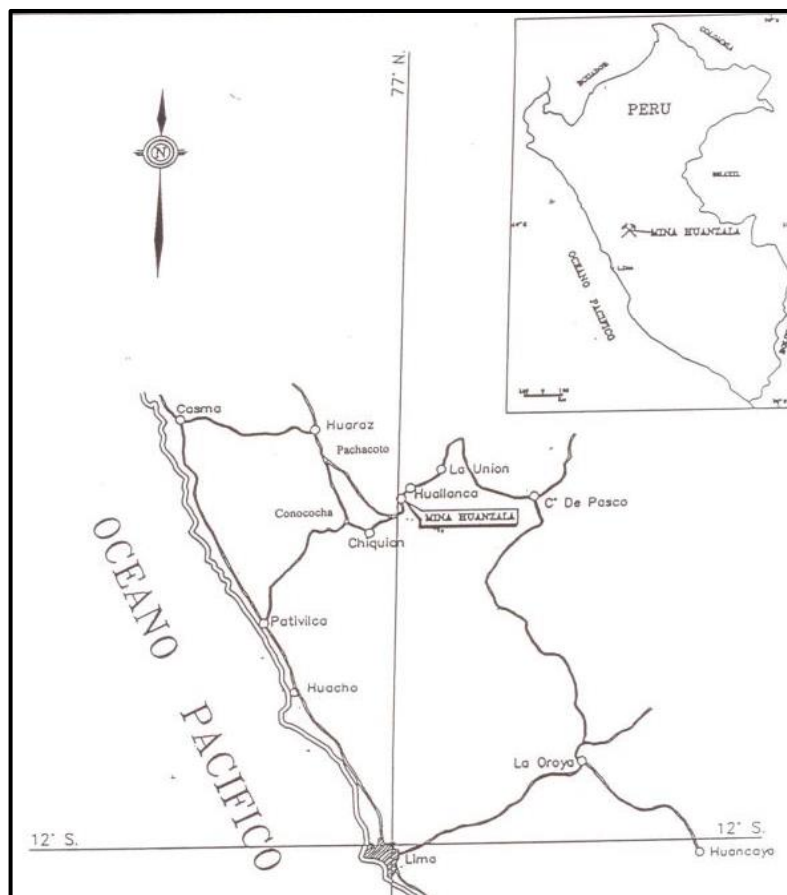
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1. Lugar de estudio

En la figura 12 se indica la ubicación geográfica del área de estudio, localizado sobre las coordenadas $09^{\circ}52'04''$ de latitud Sur y $76^{\circ}53'50''$ de longitud Oeste y altitudinalmente oscila entre a 3900 y 4400 m.s.n.m, a los alrededores de la Unidad Minera Huanzalá. Ubicado en el distrito de Huallanca, en el Sur-Este del departamento de Ancash, provincia de Bolognesi, en el flanco oriental de la cordillera Huallanca, cuya vertiente va a dar al río Marañón.

Figura 12

Ubicación del área de estudio



4.4.2. Periodo de desarrollo

La parte experimental de la presente investigación, se desarrolló en un periodo de 180 días, cabe mencionar que antes de iniciar con el experimento, se adaptó los plántones de *Senecio tephrosioides* durante 7 días.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1 Técnica de recolección de datos

La investigación empleó la técnica de observación, que es un procedimiento empírico básico, con ayuda de fichas técnicas de datos se registró y analizó la data de interés

4.5.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos que se usaron en la presente investigación fueron:

- Ficha de registro de parámetros de crecimiento en la planta.
- Ficha de registro de los parámetros físico-químicos del suelo.
- Ficha de muestreo de suelos. (Ver Anexos VI, VII y XIV respectivamente).

4.6. Análisis y procesamiento de datos

- Para el análisis y procesamiento de datos se utilizó el programa Excel versión 2013 y el Software estadístico SPSS 25.
- Para determinar si nuestros datos seguían una distribución normal se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.
- Posteriormente, para comparar las medias de nuestros datos (dependiendo de la cantidad de grupos) se utilizaron la prueba de ANOVA y la prueba T de Student.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Caracterización de suelos

El suelo analizado presentó textura franco arcillosa y pH neutro; asimismo el nivel de materia orgánica fue baja. Los resultados de la caracterización del suelo se muestran en la Tabla 3. Ver anexo II.

Tabla 3

Resultado de la caracterización inicial del suelo contaminado

pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural
						Arena	Limo	Arcilla	
						%	%	%	
6,8	3,43	2,4	1,83	95,4	1070	78	13	9	Fr.A.
CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺				
	meq/100g								
8,64	2,3	3,75	1,99	0,6	0	8,64	8,64	100	

Nota. Adaptado del Informe de caracterización de suelo. UNALM

5.1.2. Comportamiento de los parámetros físico-químicos del suelo

a) Variación de la concentración de Pb en el suelo

En la Tabla 4 se aprecian la media de los resultados mensuales de la concentración de plomo en el suelo en los distintos tratamientos.

Tabla 4

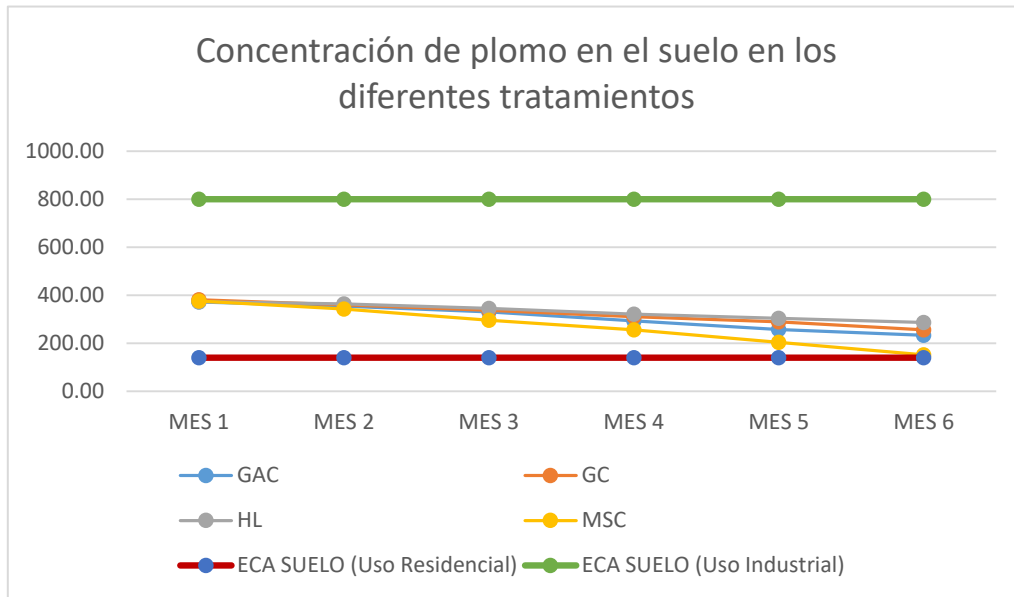
Resultados mensuales de la concentración de plomo en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Código	Pb (ppm)					
		Mes 01	Mes 02	Mes 03	Mes 04	Mes 05	Mes 06
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	371,03	354,67	330,62	292,52	257,03	233,07
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	380,67	359,44	336,10	309,66	289,41	254,79
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	373,39	362,75	321,11	321,11	303,37	286,27
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	374,97	341,85	295,75	255,02	203,61	152,04

Se muestran los resultados de la variación de la concentración de plomo en los distintos tratamientos. Asimismo, se observa que los resultados obtenidos de concentración de plomo supera el ECA Suelo para Uso Residencial (140ppm) más no supera el ECA Suelo para Uso industrial/ Extractivo (800 ppm).

Figura 13

Resultados de concentración de plomo en el suelo



b) Porcentaje de fitoextracción de plomo

Se muestran los resultados promedios del porcentaje de fitoextracción de plomo en los diferentes tratamientos (Ver Tabla 5)

Tabla 5

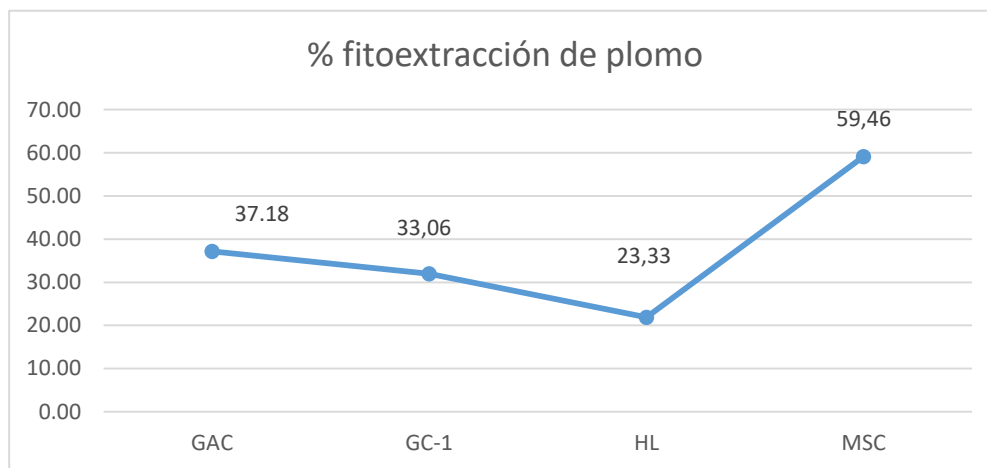
Resultados del porcentaje de fitoextracción de plomo

Tratamientos	Código	% Fitoextracción de plomo
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	37,18
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	33,06
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	23,33
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	59,46

El tratamiento MSC, mostró un promedio de porcentaje de fitoextracción de 59,46% mucho mayor en comparación con los demás tratamientos. Se muestra el resultado promedio de los porcentajes de fitoextracción por tratamientos. (Ver figura 14).

Figura 14

Resultados del porcentaje promedio de fitoextracción de plomo



c) Variación del pH

Se muestran la media de los resultados mensuales del pH del suelo en los diferentes tratamientos (Ver Tabla 6).

Tabla 6

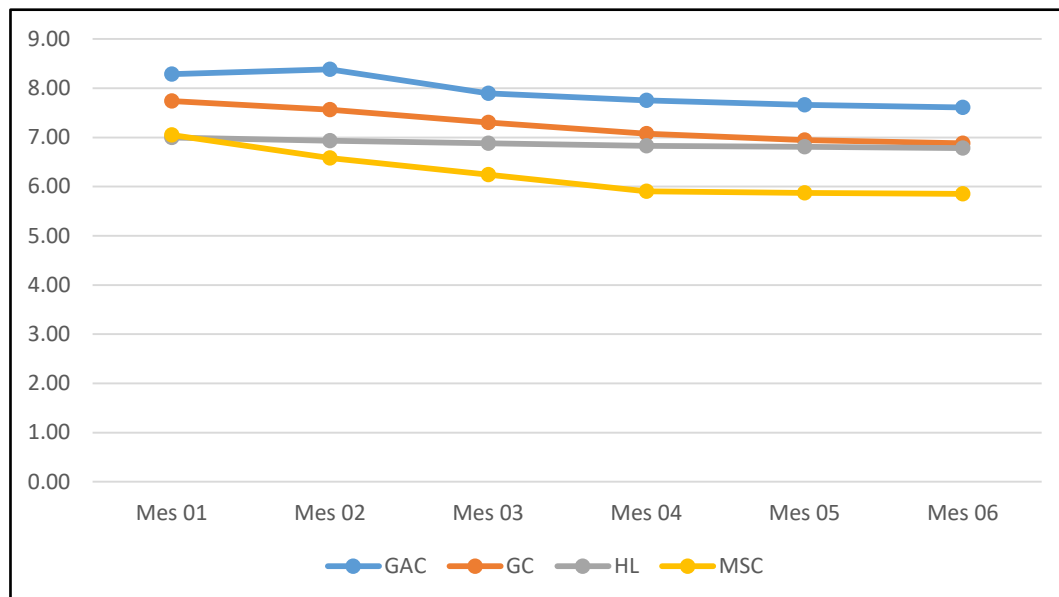
Resultados mensuales del pH en el suelo en los diferentes tratamientos

Tratamientos	Códigos	pH					
		Mes 01	Mes 02	Mes 03	Mes 04	Mes 05	Mes 06
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	8,29	8,38	7,90	7,75	7,66	7,61
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	7,74	7,56	7,30	7,07	6,94	6,88
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	7,00	6,93	6,88	6,83	6,81	6,78
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	7,05	6,58	6,24	5,91	5,87	5,85

Se muestra la media de la variación mensual del pH del suelo en los diferentes tratamientos. (Ver figura 15).

Figura 15

Resultados de la variación del pH del suelo en los diferentes tratamientos



d) Variación de la Conductividad Eléctrica

Se muestra la media de los resultados mensuales de la C.E en los diferentes tratamientos. (Ver Tabla 7).

Tabla 7

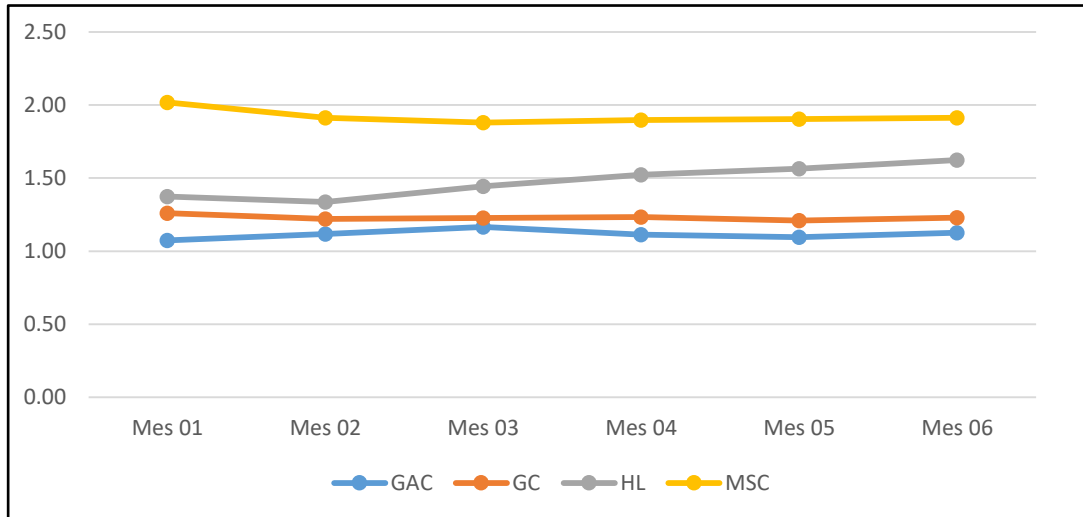
Resultados mensuales de la C.E. en el suelo en los diferentes tratamientos

		C.E (dS/m)					
Tratamientos	Código	Mes 01	Mes 02	Mes 03	Mes 04	Mes 05	Mes 06
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	1,07	1,12	1,17	1,11	1,10	1,13
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	1,26	1,22	1,23	1,23	1,21	1,23
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	1,37	1,34	1,44	1,52	1,56	1,62
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	2,02	1,91	1,88	1,90	1,90	1,91

Se muestra la media de la variación mensual de la conductividad eléctrica del suelo en los diferentes tratamientos.

Figura 16

Resultados de la variación de la C.E. del suelo en los diferentes tratamientos



5.1.3. Resultados de los parámetros de crecimiento de las plantas

Se muestra la media de los valores de los parámetros de crecimiento de las plantas en los diferentes tratamientos (Ver Tabla 8)

Tabla 8

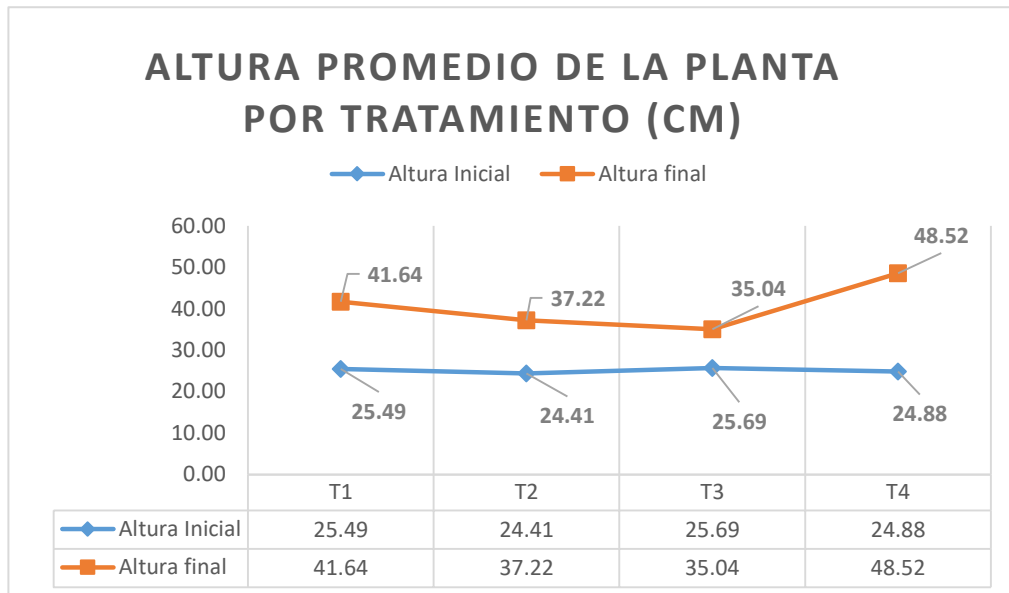
Resultados de los parámetros de crecimiento del Senecio tephrosioides en los diferentes tratamientos

PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LA PLANTA						
Tratamiento	Altura promedio de la planta por tratamiento (cm)		Número promedio de ramificaciones		Número promedio de hojas	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1: GAC	25.49	41.64	6,00	9,00	23,78	40,33
T2: GC	24.41	37.22	7,11	10,44	26,44	42,00
T3: HL	25.69	35.04	6,88	11,00	26,56	40,22
T4: MSC	24.88	48.52	7,88	13,44	26,11	51,89

Se muestra la media de la variación de las alturas de las plantas al inicio y al final de los tratamientos (Ver Figura 17)

Figura 17

Resultados de las alturas promedio al inicio y al finalizar los tratamientos



5.1.4. Resultados de la concentración de plomo en el *Senecio tephrosioides*

Se muestra el resultado de la concentración de plomo en las muestras de *Senecio tephrosioides* antes de iniciar los tratamientos (Ver Tabla 9)

Tabla 9

*Resultados de la concentración de plomo en el *Senecio tephrosioides* antes de iniciar los tratamientos*

Código	Concentración de Pb en las muestras de <i>Senecio tephrosioides</i> (ppm)
SENECIO T. INICIAL	4,19

Se muestra la media de los valores de absorción de Pb en las plantas al término de los tratamientos (Ver Tabla 10)

Tabla 10

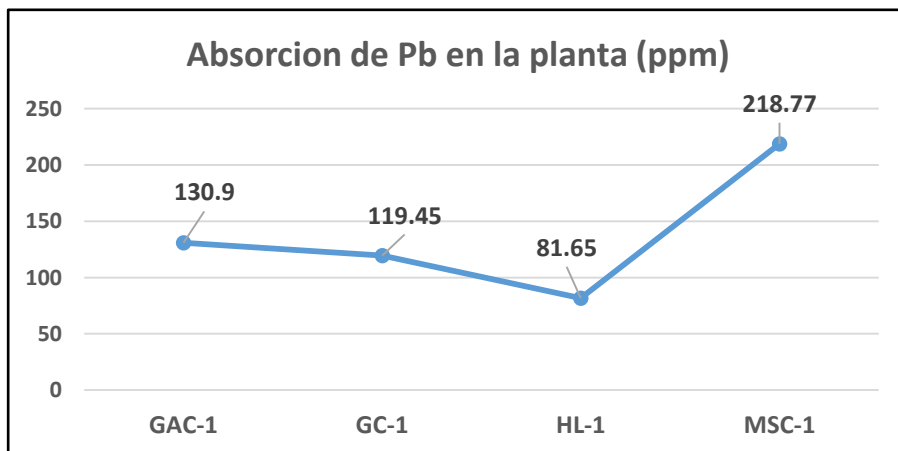
Resultados de la absorción de plomo promedio por parte del Senecio tephrosioides al finalizar los tratamientos

Tratamientos	Código	Absorción de Pb en la planta (ppm)
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	130,9
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	119,45
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	81,65
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	218,77

El tratamiento MSC presentó un valor promedio de absorción de Pb de 218,77 ppm (Ver Figura 18)

Figura 18

Resultados de la absorción de plomo en las plantas al finalizar los tratamientos



5.1.5. Resultados del Factor de Bioconcentración (BF)

Se muestran los resultados del Factor de Bioconcentración en los diferentes tratamientos al finalizar la investigación (Ver Tabla 11)

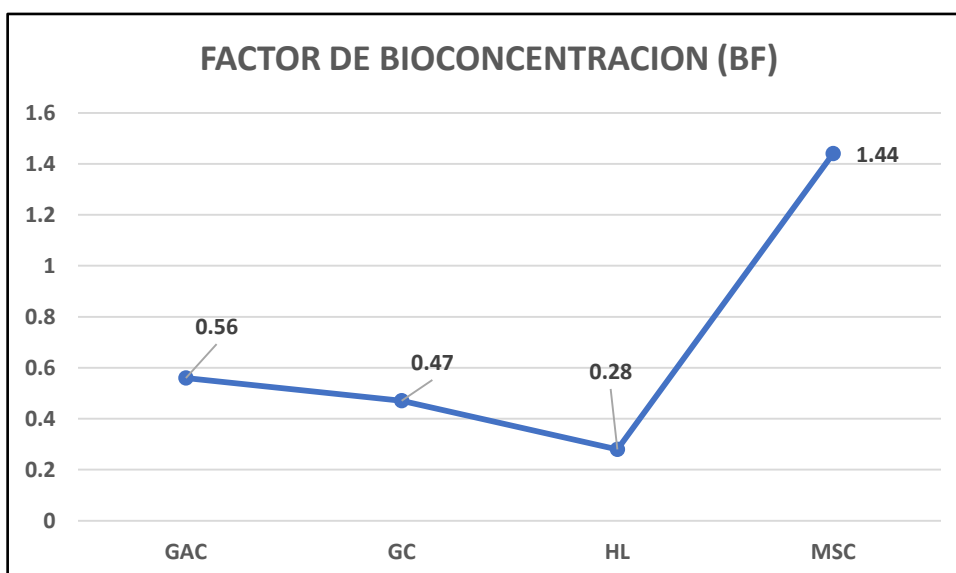
Tabla 11

Resultados del índice de bioconcentración al finalizar los tratamientos

Tratamientos	Códigos	INDICE DE BIOCONCENTRACION (BF)
T1: Suelo contaminado por plomo + guano de ave y compost	GAC	0,56
T2: Suelo contaminado por plomo + estiércol de caballo	GC	0,47
T3: Suelo contaminado por plomo + humus de lombriz	HL	0,28
T4: Suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico	MSC	1,44

Figura 19

Resultado del factor de bioconcentración de los diferentes tratamientos



5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Análisis de datos para la concentración de plomo en el suelo en los tratamientos

Planteamiento de hipótesis:

Ho: La aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* no remedia suelo contaminado con plomo

Ha: La aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* remedia suelo contaminado con plomo

Se presentan los estadísticos descriptivos de la concentración de plomo en el suelo en los tratamientos (Ver Tabla 12)

Tabla 12

Estadísticos descriptivos de la concentración de plomo en el suelo

Tratamiento	Medición	Media	Desviación estándar	N
Suelo Cont. Pb + guano de ave y compost	Inicial	371,0300	5,25307	3
	Final	233,0700	3,74829	3
	Total	302,0500	75,67395	6
Suelo Cont. Pb + estiércol de caballo	Inicial	380,6667	3,26424	3
	Final	254,7933	4,17193	3
	Total	317,7300	69,02502	6
Suelo Cont. Pb + humus de lombriz	Inicial	373,3933	4,67975	3
	Final	286,2700	5,29283	3
	Total	329,8317	47,92816	6
Suelo Cont. Pb sin enmienda	Inicial	374,9667	3,57598	3
	Final	152,0433	12,99700	3
	Total	263,5050	122,39742	6
Total	Inicial	375,0142	5,19822	12
	Final	231,5442	52,25048	12
	Total	303,2792	81,78187	24

Se muestran los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilk, lo cual se usó porque la data está compuesta por menos de 50 datos, encontrando valores de p mayores de 0.05 (Ver Tabla 13).

Prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilk

H0: La variable presenta una distribución normal

H1: La variable presenta una distribución no normal

Toma de decisión:

Sig (p valor) > alfa: No rechazar H0 (normal).

Sig (p valor) < alfa: Rechazar H0 (no normal).

Donde alfa representa la significancia, que en este ejemplo hipotético es igual al 5% (0,05).

Tabla 13

Estadística paramétrica

	Medición	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Concentración de plomo en suelo	Inicial	0,991	12	1,000
	Final	0,875	12	,076

En tal sentido al demostrar que los datos siguen una distribución normal, para contrastar las hipótesis se deberá emplear estadísticas paramétricas: ANOVA. Se muestra el resultado del análisis de la varianza (Ver Tabla 14)

Tabla 14

Análisis de varianza: Pruebas de efecto inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	153227,660 ^a	7	21889,666	581,151	,000
Interceptación	2207478,070	1	2207478,070	58606,559	,000
Tratamiento	14984,142	3	4994,714	132,605	,000
Medición	123501,845	1	123501,845	3278,863	,000
Tratamiento * Medición	14741,673	3	4913,891	130,459	,000
Error	602,657	16	37,666		
Total	2361308,388	24			
Total corregido	153830,317	23			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,994)

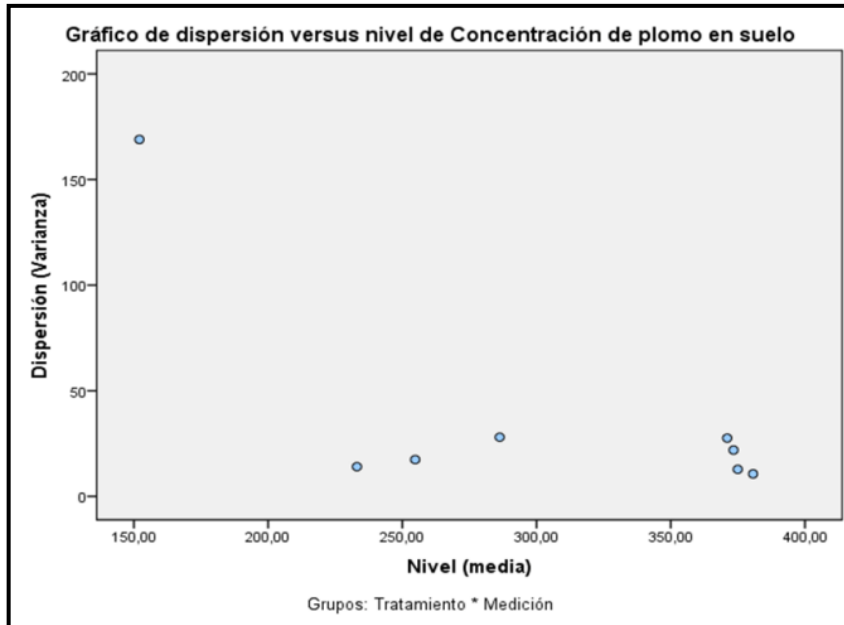
Regla de decisión

Si sig < 0,05. Rechazamos la H0

Se muestra la media de los escenarios de cada tratamiento. (Figura 20)

Figura 20

Media de escenarios de cada tratamiento



5.2.2. Análisis de datos para el Factor de Bioconcentración del *Senecio tephrosioides* en los diferentes tratamientos.

Planteamiento de hipótesis:

Ho1: La especie *Senecio tephrosioides* no tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico

Ha1: La especie *Senecio tephrosioides* tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico.

Se presentan los estadísticos descriptivos de la concentración de plomo en el suelo en los tratamientos.

Tabla 15

Estadísticos descriptivos del factor de bioconcentración para el tratamiento sin sustrato orgánico

	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Factor de bioconcentración	Valor teórico	3	1,0000	,00000	,00000
	Suelo Cont. Pb sin sustrato orgánico	3	1,4480	,16219	,09364

Se muestran los resultados de Shapiro Wilk, encontrándose valores de p mayores de 0.05 (Ver Tabla 16);

Prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilk

H0: La variable presenta una distribución normal

H1: La variable presenta una distribución no normal

Toma de decisión:

Sig (p valor) > alfa: No rechazar H0 (normal).

Sig (p valor) < alfa: Rechazar H0 (no normal).

Donde alfa representa la significancia, que en este ejemplo hipotético es igual al 5% (0,05).

Tabla 16

Prueba de normalidad de datos del grupo de datos de índice de bioconcentración

	Grupo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Factor de bioconcentración	Suelo Cont. Pb sin emienda	,979	3	,724

En tal sentido al demostrar que los datos siguen una distribución normal, para contrastar la hipótesis específica N°01 se deberá emplear estadísticas paramétricas: T de Student (Ver Tabla 17)

Se muestra el resultado del estadístico T de Student

Tabla 17

Comparación de medias con T de Student

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Factor de Bioconcentración	Se asumen varianzas iguales	6,593	,062	-4,78	4	,009	-,448	,09364	-,707	-,18801
	No se asumen varianzas iguales			-4,78	2,00	,041	-,448	,09364	-,850	-,04509

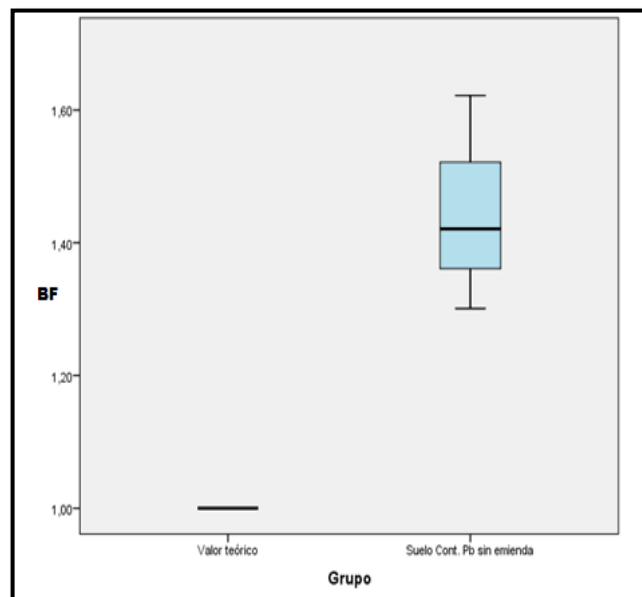
Regla de decisión

Si sig < 0,05. Rechazamos la H0

Se muestra las medias del Factor de Bioconcentración (BF) del suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico (Ver Figura 21).

Figura 21

Medias del factor de bioconcentración del suelo sin sustrato orgánico.



5.2.3. Análisis de datos para el porcentaje de fitoextracción de plomo en los tratamientos

Planteamiento de hipótesis:

H₀₂: El porcentaje de fitoextracción de plomo en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico no es mayor que en los demás tratamientos.

H_{a2}: El porcentaje de fitoextracción de plomo en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico es mayor que en los demás tratamientos.

Se presentan los estadísticos descriptivos de la concentración de plomo en el suelo en los tratamientos (Ver Tabla 18).

Tabla 18

Estadísticos descriptivos del porcentaje de extracción de plomo

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Suelo Cont. Pb + guano de ave y compost	3	37,18	0,860	0,497	35,04	39,32	36,39	38,1
Suelo Cont. Pb + estiércol de caballo	3	33,06	1,367	0,789	29,66	36,46	32	33,06
Suelo Cont. Pb + humus de lombriz	3	23,33	1,409	0,814	19,83	26,83	21,85	24,66
Suelo Cont. Pb sin sustrato orgánico	3	59,46	3,323	1,918	51,20	67,72	56,33	62,94
Total	12	38,26	13,923	4,02	29,41	47,11	21,85	62,94

Prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilk

H₀: La variable presenta una distribución normal

H₁: La variable presenta una distribución no normal

Toma de decisión:

Sig (p valor) > alfa: No rechazar H0 (normal).

Sig (p valor) < alfa: Rechazar H0 (no normal).

Donde alfa representa la significancia, que en este ejemplo hipotético es igual al 5% (0,05).

Se presentan los resultados de la prueba de Shapiro Wilk (n<50). Encontrando valores de p mayores de 0.05 (Ver tabla 19)

Tabla 19

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

		Shapiro-Wilk		
	Grupo	Estadístico	gl	Sig.
Porcentaje de fitoextracción de plomo	Suelo Cont. Pb + guano de ave y compost	0.982	3	0.736
	Suelo Cont. Pb + estiércol de caballo	0.906	3	0.375
	Suelo Cont. Pb + humus de lombriz	0.992	3	0.840
	Suelo Cont. Pb sin sustrato orgánico	0.991	3	0.830

En tal sentido al demostrar que los datos siguen una distribución normal, para contrastar la hipótesis específica N°02 se deberá emplear estadísticas paramétricas: ANOVA (Ver Tabla 20)

Se muestra el resultado del análisis de la varianza (Ver Tabla 20)

Tabla 20

Análisis de varianza

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor crítico para F	Sig
Entre grupos	2101.35232	3	700.4507734	4.066181	1.131E-07
Dentro de los grupos	31.27426348	8	3.909282935		
Total	2132.626584	11			

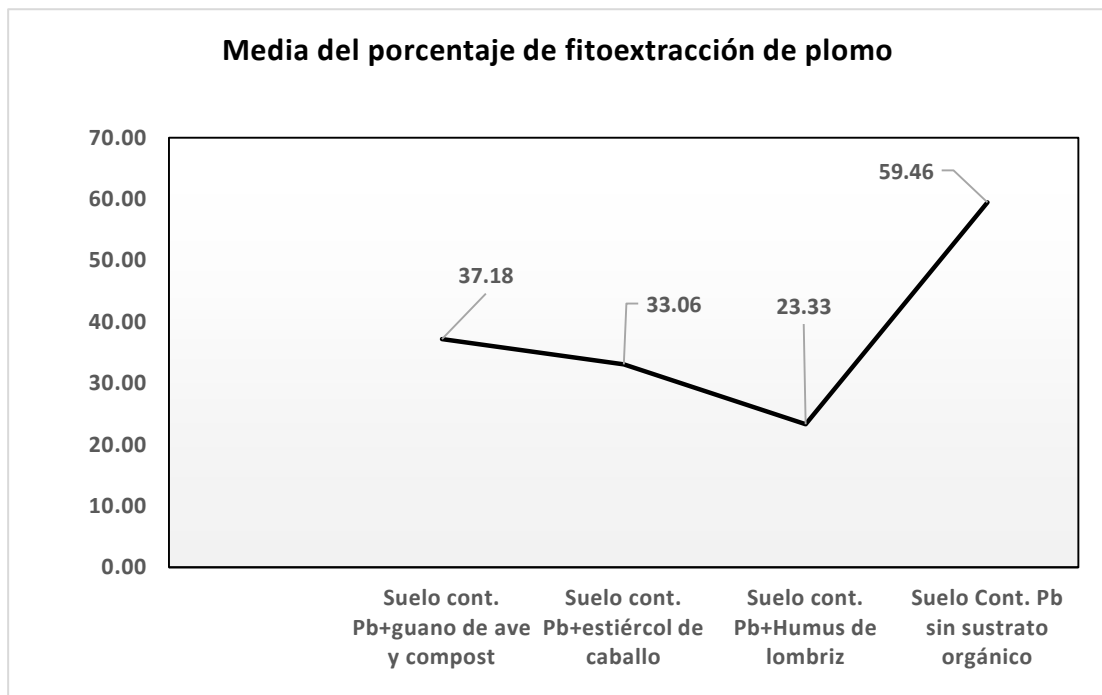
Regla de decisión

Si $\text{sig} < 0,05$. Rechazamos la H_0

En la Figura 22, se observa que el tratamiento con suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico presenta mayor porcentaje de fitoextracción en comparación con los demás tratamientos.

Figura 22

Media de los escenarios de cada tratamiento



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- De los resultados obtenidos en la caracterización del suelo a remediar (Ver tabla 3), se obtuvo que el suelo analizado presentó textura franco arcillosa y pH neutro; asimismo el nivel de materia orgánica fue baja.
- De acuerdo a la tabla 8, el *Senecio tephrosioides* presentó mayor tasa de crecimiento y de biomasa en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico.
- Según el anova factorial de los resultados obtenidos en la tabla 14, se tiene valores de sig menores de 0.05, por lo que rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , la aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* remedia suelos contaminados con plomo.
- De los resultados obtenidos en la tabla 17, se tiene valores de sig menores de 0.05, por lo que rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , el *Senecio tephrosioides* tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico.
- De acuerdo a los resultados de la fitoextracción (Ver Tabla 5) el tratamiento MSC (Suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato orgánico) mostró un porcentaje de fitoextracción de 59,46%, siendo este valor mayor en comparación con los demás tratamientos.
- De los resultados obtenidos en la tabla 19, se tiene valores de sig menores de 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis alterna, demostrando que el tratamiento de *Senecio tephrosioides* sin sustrato orgánico presenta mayor porcentaje de fitoextracción de plomo que en los demás tratamientos.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

- Abigail Dextre (2017), determina la concentración de plomo inicial alrededor de la laguna Ticticocha (Lima) y Churuca (Junín) alcanzando 1,115.7 mg/kg y 1679.1 mg/kg respectivamente. Por otro lado, en nuestra investigación la concentración promedio de plomo inicial en los suelos alrededor de la unidad minera Huanzalá fue de 375.01 mg/kg, estos se considerarían contaminados por plomo ya que el valor supera el ECA Suelo para Uso agrícola (70 ppm).
- Asimismo, Dextre, concluye que los (FBC) y (FT) para arsénico y plomo son menores a 1, por tanto, propone a *S. rufescens* como una especie excluyente de arsénico y plomo recomendándose para estudios de fitoestabilización de suelos contaminados, por otro lado en nuestra investigación en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin sustrato orgánico, el (FBC) para el plomo fue de 1.44 (mayor que 1), por lo que se propone al *Senecio tephrosioides* como especie acumuladora para estudios de fitoextracción.
- En la tesis doctoral "Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana", desarrollado por Paola Durán en el 2010, se investigó comparativamente la tolerancia de diversas floras (entre ellas el *Senecio sp.*) frente al impacto de los metales del suelo en dos localidades diferentes: Hualgayoc, Cajamarca (Perú) en la zona andina y Poblet, Tarragona (España) en el área mediterránea. Respecto al *Senecio sp.* se concluyó que acumularon elevadas concentraciones de Pb en la parte aérea, además presenta valores FT (Factor de Translocación) superiores a uno y a pesar de presentar un valor inferior a 1 en el índice BF (Factor de Bioconcentración), se sugiere como planta hiperacumuladora de este metal. Por otro lado, en nuestro estudio en el tratamiento de suelo contaminado sin sustrato orgánico, el factor de bioconcentración fue mayor que 1, por ende, se considera que el *Senecio tephrosioides* tiene la capacidad de fitoacumular Pb en sus tejidos, sugiriéndose como planta con potencial de acumular este metal, asimismo en el tratamiento MSC (Muestra de suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico) el *Senecio tephrosioides* presentó mayor

porcentaje de fitoextracción de plomo en comparación con respecto a los demás tratamientos.

- En la investigación “Acumulación de Pb y Zn en *Bidens triplinervia* y *Senecio sp.* especies espontáneas de suelos mineros en Perú y su potencial uso en fitorremediación” (Betch et al., 2012) se tomaron muestras de suelos y plantas en una mina polimetálica en la provincia de Cajamarca, Perú, cuyo objetivo fue evaluar la capacidad fitoacumulativa de los metales Zn y Pb en las especies *Bidens triplinervia* y *Senecio sp.*, en la cual se concluye que la especie *Senecio sp.* tiene un alto potencial para ser usado en tecnologías de fitoextracción por su capacidad de acumular Pb y asimismo por su capacidad de adaptarse fácilmente en suelos contaminados con metales pesados. Asimismo, en nuestro estudio, el *Senecio tephrosioides* presentó mayor tasa de crecimiento, mayor biomasa y mayor porcentaje de fitoextracción en un suelo contaminado por plomo sin sustrato orgánico (suelo con característica de pH ácido), adaptándose rápidamente.
- Los síntomas visibles de exceso de plomo en las plantas son raíces cortas y marrones, hojas verdes y oscuras y marchitez de las hojas más viejas (Kabata y Mukherjee, 2007). Sin embargo, en nuestro estudio el *Senecio tephrosioides* no mostró estos síntomas al ser colectada es decir no presentaron problemas de toxicidad.
- Por otra parte, la fitoextracción de plomo por parte del *Senecio tephrosioides* en el tratamiento sin sustrato orgánico fue de 218.77 ppm, valor menor en comparación con los registrados por el *Senecio rufescens* que presenta acumulaciones relativamente altas de plomo (Entre 168.91 mg/kg y 319.1 mg/kg) alrededores de las lagunas Ticticocha (Lima) y Churuca (Junín) respectivamente. (Dextre, 2017). Con respecto a otras especies del mismo género, el *Senecio sp.* fue capaz de fitoacumular cerca de 4000 mg/Kg de plomo en sus tejidos, alrededor de una zona minera ubicada en Hualgayoc - Cajamarca, Perú. (Bech et al., 2012). El *Senecio rudbeckiaefolius* fue capaz de acumular plomo en sus tejidos, Punto (A) 444.6 mg/kg y en el punto (B) 404.5 mg/kg alrededores de la relavera de Quiulacocha en el distrito de Rancas, Pasco. (Papuico, 2018).

6.3. Responsabilidad ética

De acuerdo con los reglamentos vigentes en cuanto a los compromisos y principios con la responsabilidad ética, la presente tesis: “Fitoextracción con *Senecio tephrosioides* para la remediación de suelo contaminado por plomo en Huanzalá-Ancash”, ha sido elaborado con total transparencia en todo el proceso de la investigación; asimismo la investigación se ejecutó controladamente en una parcela, evitando riesgos de contaminación a otros espacios y a la salud de las personas.

Asimismo, el desarrollo de la tesis se centra en estudios similares, las cuales han sido debidamente referenciadas, evidenciando de esta forma la originalidad de nuestro trabajo de investigación.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1 Al finalizar la parte experimental, se redujo la concentración de plomo en el suelo de cada tratamiento, por lo cual se concluye que la aplicación de la fitoextracción con *Senecio tephrosioides* remedia suelos contaminados por plomo.
- 7.2 La especie *Senecio tephrosioides* presentó mayor absorción de plomo (218.77 ppm) en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico, en comparación con los demás tratamientos. Asimismo, presentó mayor adaptabilidad y crecimiento en un suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato orgánico, suelo de pH ácido.
- 7.3 Se concluye que el Factor de Bioconcentración del *Senecio tephrosioides* en un suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato orgánico, superó el valor de la unidad, por lo tanto, el *Senecio tephrosioides* en este tipo de tratamiento tiene potencial de ser considerado una especie hiperacumuladora con capacidad de fitoextraer plomo.
- 7.4 Finalmente se concluye que el *Senecio tephrosioides* presentó mayor porcentaje de fitoextracción de plomo (59.46%) en un suelo contaminado por plomo sin adición de sustrato orgánico, por lo cual se propone a la especie *Senecio tephrosioides* para la remediación de suelos contaminado con plomo que requieran de un tratamiento que involucre a la fitoextracción.

VIII. RECOMENDACIONES

- 8.1. Se recomienda evaluar las condiciones climáticas de la zona y las características físico-químicas de los suelos antes de llevar a cabo la fitoextracción.
- 8.2. Continuar con la aplicación de la fitoextracción hasta que los valores de plomo cumplan con el ECA suelo de uso agrícola, asimismo adoptar acciones preventivas sobre el suelo a tratar para evitar su dispersión a otras áreas.
- 8.3. Se sugiere que cuando se aplique la fitoextracción para remediar zonas extensas, las especies cosechadas sean incineradas para luego aplicar procesos que permitan recuperar el plomo con el fin de ser aprovechados en diversas aleaciones (reciclaje del plomo).
- 8.4. Para futuras investigaciones considerar los tratamientos con diferentes concentraciones de plomo, esto con la finalidad de evaluar detalladamente en que rango de concentración el *Senecio tephrosioides* presentará mayor eficiencia de fitoextracción.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alloway, B.J. (1995). *Heavy metals in soils*. (2°ed). Editorial. Blackie Academic and Professional.
2. ATSDR. (2005). Division of toxicology. ATSDR Information Center. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html#bookmark05>.
3. Barton, C., Marx, D., Adriano, D., Jun-Koo., Newman, L., Czapka,S. y Blake, J. (2005).
Phytostabilization of a landfill containing coal combustion waste. (12°ed). Environmental Geosciences.(pp.251-265).
4. Bech,J.,Durán, P., Roca, N., Poma, W., Sánchez, I ., Roca,L., Boluda,R.,Barceló, J. y Poschenrieder, CH.(2012).Accumulation of Pb and Zn in *Bidens triplinervia* and *Senecio* sp. spontaneous species from mine soils in Peru and their potential use in phytoremediation.(12°ed). Journal of Geochemical Exploration. (pp.2109-113).
5. Becerril,J., Barrutia, O., García, J., Hernández,A., OLANO, J. y Garbisu, C.(2007).Especies nativas de suelos contaminados por metales: Aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación.Ecosistemas. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>.
6. Beltran, H.(2002). *Senecio albaniae*, (Asteraceae: Senecioneae), a new species from central Perú. (1°ed., Vol.12, pp.35-37).
7. Beltrán, H. y Roque, J. (2015). El género *Senecio* L. (Asteraceae-Senecioneae) en el departamento de Lima, Perú. (2°ed., Vol.22, pp.395-412)
8. Bermúdez, M. (2010). Contaminación y turismo sostenible. https://www.academia.edu/24043633/CONTAMINACION_Y_TURISMO_SOSTENIBLE
9. Brooks, R. (1998). Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals—Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and

Phytomining. New York: International Center for Agriculture and Biosciences.

10. Blaylock, M., Salt, D., Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C., Kapulnik, Y., Ensley, B., y Raskin, I. (1997). Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil applied chelating agents. (1ª ed., Vol. 31, pp. 860-865).
11. Chavez, L. (2014). Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo.
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/Handle/UNALM/2435/T01-C517-T.pdf?sequence=1>
12. Cepeda, J. (2003). Efectos sobre la salud de los contaminantes químicos ambientales. En línea, Universidad del Norte, Buenos Aires. Disponible en:
http://www.uninorte.edu.co/extensiones/IDS/Ponencias/salud_y_ambiente/Contaminacion%20quimicav.pdf
13. Cordero, J., Guevara, M., Morales, E., y Lodeiros, C. (2005). Efecto de metales pesados en el crecimiento de la microalga tropical *Tetraselmis chuii* (Prasinophyceae). *Revista Biológica Tropical*. (1ª ed., Vol. 53, pp. 325-330).
14. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
15. Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Senecio rufescens* DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú. Tesis para obtener el título profesional de bióloga. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
16. Durán, P. (2010). Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana. Universidad de Barcelona.
17. Estudio de Impacto Ambiental – Minera Huanzala (2013). Asesores y Consultores Mineros S.A.
18. Evans, G., y Furlong, J. (2003). *Environmental Biotechnology: theory and applications*. West Sussex. <https://studfile.net/preview/395638/>

19. Figliolia, R., Socciarelli, S. y Pennelli, B. (2002). Capability of Brassica napus to accumulate Cadmium, Zinc and Copper from soils. Acta Biotechnol. (1°ed., Vol.22, pp.133-140)
20. Florian, J. (2014). Evaluación de los principios activos de Senecio calvus en la formación de biopelículas de Pseudomonas aeruginosa. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
21. García, I, y Dorronsoro, C. (2002). Contaminación por metales pesados. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
22. García, I, y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
23. Garrido V., S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.
24. Ginocchio, R, y Baker, A. (2004). Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region. Revista chilena de historia natural. (1°ed., Vol.77, pp.185-194).
25. Gomez Timoteo, N. R. (2019). Absorción de metales en la planta *Senecio collinus* en suelos disturbados y no disturbados en la zona de la Laguna Yanamate, con la finalidad de realizar una remediación ambiental.
26. Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. Nat. Educ. Knowl. (1°ed., Vol.2, pp.7).
27. Hernández, R. (2003). Metodología de la Investigación. <http://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
28. Herrera, K. (2009). Evaluación del riesgo de contaminación por plomo en suelos del Cantón sitio del Niño municipio de San Juan Opico departamento de la libertad. Universidad del Salvador.
29. Huang, P. (1999). Environmental Soil Chemistry and Human Welfare. 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Temuco. Chile.

30. Huaranga Sanchez, E. L. (2019). Evaluación de contenidos metálicos en las especies altoandinas *Calamagrostis rigida*, *Trisetum spicatum* y *Senecio rufescens* en el entorno de la laguna de Yanamate, para determinar su potencial fitorremediador - Pasco - 2019.
31. Kabata, A. y Pendias, H. (2000). Trace Elements in Soils and Plants. (3°ed., Vol.412, pp.2000).
32. Kabata, P. y Mukherjee, A. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Berlin Heidelberg. 3(7), 23.
33. Ladou, J. (1999). Medicina laboral y ambiental. El Manual Moderno. <https://www.casadellibro.com/libro-medicina-laboral-y-ambiental-2-ed/9789684268098/801756>
34. Lasat, M-. (2000). Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant soil metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. Journal of Hazardous Substance Research.(1°ed., Vol.2, pp.109-121).
35. Lasat, M. (2002). Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanism. Journal Environ. Qual.(2°ed., Vol.31, pp.108-119)
36. Loja, H. (2002). Contribución al estudio florístico de la provincia de Concepción, Junín: Dicotiledóneas [Tesis de maestría, Universidad Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional - Universidad Mayor de San Marcos.
37. Lokeshwari, H. y Chandrappa, G. (2006). "Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation".
38. López, M. y Grau, J. (2005). Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria. INIA. http://libros.inia.es/libros/product_info.php?products_id=656
39. López, E. (2014). Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por la actividad minera. (Tesis Pregrado), Corporación Universitaria Lasallista, Antioquía-Colombia.

40. Martínez, G. y Palacio, C. (2010). Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y en granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama [Tesis de pregrado, Universidad Agraria de la Selva] . Repositorio - Universidad Agraria de la Selva.
41. McBride, B. (1994). Environmental chemistry of soils. *Phyiol. Plant Mol.* (1°ed., Vol.49, pp.643-668).
42. Mendez, M, y Maier, R. (2008). Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments-An Emerging Remediation Technology. *Environ Health Perspect.*(1°ed., Vol.116, pp. 278-283).
43. Millán, R., Carpena, O., Schimid, T., Sierra, J., Moreno, E., Peñalosa, J., Gamarra, R. y Esteban, E.(2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: Estrategias aplicables en el área de Almadén, 2(16),2-11.
44. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental. (2014). Guía para muestreo de suelos. Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental. -- Lima: MINAM, 2014.
45. Montano, Y., & Medina, K. (2014). Determinación del Factor de Bioconcentración y Traslocación de Metales Pesados en el *Juncus Arcticus* willd. y *Cortaderia Rudiuscula* stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash - 2013. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo", Huaraz.
46. Padmavathiamma, K. y Li, L. (2007). Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. *Water, Air, & Soil Pollution. Revista Scielo*, 1(184), 105-106.
47. Panez, M. (2013). Propuesta para la restauración de suelos contaminados por metales pesados afectados por la actividad minera mediante el uso de fitorremediación [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Ambiental]. Universidad Agraria la Molina.
48. Papuico Huayta, K. Z. (2018). Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta *Yaluzai* (senecio

rudbeckiaefolius) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.

49. Pérez, C., Martínez, J., García, L. y Bech, J. (2008). Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by minning activities. *Fresenius environmental Bulletin*. (1°ed., Vol.17, pp.1666-1671).
50. Pilon, E. (2005). Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant. Biol.* (1°ed., Vol.56, pp.15-39).
51. Prasad, V. (1997). Trace Elements, in *Plants Ecophysiology*. Prasad, M.N.V, (1°ed., Vol.1, pp.207).
52. Prasad, V. y Hagemeyer, J. (1999). Heavy metals Stress in plants. Springer. Berlin, (1°ed., Vol.1, pp.401).
53. Rábago, A. (2011). *Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional- Universidad Complutense de Madrid.
54. Ramírez, F. (2015). Fitoextracción de plomo de dos suelos contaminados utilizando espinaca y tres agentes quelatantes. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrícola Y Ambiental]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ingeniería.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6629/63309%20RAMIREZ%20P%C3%89REZ,%20%20FELICITA%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
55. Rascio, N. y Navarri, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it and what makes them so Interesting? *Plant Science*.
56. Reid, R. (2001). Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Australian Plant. Journal Plant Physiology*, (1°ed., Vol.2016, pp.1391-1402).
57. Sánchez, C. (2015). Evolución de la calidad del suelo, disponibilidad de metales pesados y vegetación en un depósito minero de la sierra minera de Cartagena-La Unión tras su rehabilitación mediante fitoestabilización asistida. (Tesis Pregrado), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena-Colombia.

58. Sarma,H.(2011). Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology. *Environmental Science and Technology*, (1°ed.,Vol.24, pp. 118-138).
59. Sas-Nowosielska,A.,Kucharski,R.,Malkoesky,F.,Pogrzeba,M., Kuperberg,M. y Krynski, K.(2004). Phytoextraction crop disposal-an unsolved problem. *Environm. Pollut.* (1°ed., Vol.128,pp.373-379).
60. Sauquillo,A.,Rigol, y A., Rauret,G.(2003). Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*. (1°ed.,Vol.22, pp.152-159).
61. Sun,Y., Zhou,Q. y Diao, Ch.(2008). Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology* (1°ed., Vol.99, pp.1103-1110).
62. Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet,J., Adriaensen,K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilrv,A., Meers, E., Nehnelajova,E.,VAN DER, D, y Mench, M. (2009). Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ. Sci. Pollut*, 1(16),765-794.
63. Vishnoi, R. y Srivastava, N. (2008). Phytoremediation-Green for environmental clean. In: *The 12th World Lake Conference*, 1(12),1016-1021.
64. Vyslouzilova,M., Tlustos, P. y Száková J, y Pavlíková. (2003). And Zn uptake by different *Salix* spp. Grown at soils enriched by high loads of the elements, 1(5):191-196.
65. Vision, T, y Dillon, M. (1996). Sinopsis de *Senecio* L. (Senecioneae, Asteraceae) para el Perú. *Arnaldoa*, 11(2): 193-202.
66. Wong, M. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6):775-780. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12688490/>
67. Xiao,L.,Guan, D.,Peart, R., Chen Y., Li, Q, y Dai, J. (2017). The influence of bioavailable heavy metals and microbial parameters of soil on the metal accumulation in rice grain. *Chemosphere*. 1(18):868-878.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00456535173114>

99

68. Whitfield, M, y Zeeb, A.(2010). Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultura and Wastewater Contamination. Kulakow, P (Ed.), 3(1).

ANEXOS

ANEXO I. Matriz de Consistencia

“FITOEXTRACCIÓN CON <i>SENECIO TEPHROSOIDES</i> PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR PLOMO EN HUANZALÁ - ANCASH.”					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿La fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i> sería un método adecuado para la remediación de suelos contaminados por plomo?	Proponer la fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i> para la remediación de suelos contaminados por plomo.	La aplicación de la fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i> remedia suelos contaminado por plomo	VARIABLE INDEPENDIENTE Fitoextracción con <i>Senecio tephrosioides</i> .	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN La presente investigación es de tipo: aplicada, de campo, experimental y cuantitativa ya que se manipulará intencionalmente el <i>Senecio tephrosioides</i> con diferentes tratamientos para luego medir el efecto de remediación del suelo. Asimismo, el diseño de investigación que se usará es el modelo experimental, el cual recolecta datos a través del tiempo.	POBLACIÓN Constituye los suelos contaminados por plomo procedentes de los relaves mineros de la Unidad Minera Huanzala explotada por la CIA Minera Santa Luisa, ubicado en el distrito de Huallanca – Ancash.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		METODOLOGIA	MUESTRA
¿Cuál es el factor de bioconcentración de la especie <i>Senecio tephrosioides</i> ?	Determinar el factor de bioconcentración del <i>Senecio tephrosioides</i> para la remediación de suelo contaminado por plomo.	H1: La especie <i>Senecio tephrosioides</i> tiene un factor de bioconcentración mayor que 1 en el tratamiento de suelo contaminado con plomo sin adición de sustrato orgánico	VARIABLE DEPENDIENTE Suelo contaminado por plomo.	1.Muestreo de suelo 2.Caracterización físico-química del suelo a tratar 3.Preparación de los suelos 4.Distribución de los tratamientos 5.Análisis físico-químico de los tratamientos	El tamaño de la muestra estará constituido por 12 unidades experimentales (n=12). Para ello se requiere 120 kg de suelo contaminado por plomo, distribuidos en 12 macetas rectangulares con capacidad de 10 kg cada maceta.
¿Cuál de los tratamientos (suelo contaminado + estiércol de caballo, suelo contaminado + guano de aves y compost, suelo contaminado + humus de lombriz o suelo contaminado sin sustrato orgánico) presenta mayor porcentaje de fitoextracción de plomo?	Determinar el porcentaje de fitoextracción de plomo en cada uno de los tratamientos	H2: El porcentaje de fitoextracción de plomo en un suelo contaminado sin adición de sustrato orgánico es mayor que en los demás tratamientos.			

ANEXO II. Informes de caracterización de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA – DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : ALEJANDRO ALVA CERVANTES

Departamento : ANCASH

Distrito : HUALLANCA

Referencia : H.R. 68116-058C-19

Bolt.: 2924

Provincia : BOLOGNESI

Predio :

Fecha : 28/09/19

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
3722	MS-CA-1	6.80	3.43	2.40	1.83	95.4	1070	78	13	9	Fr.A.	8.64	2.30	3.75	1.99	0.60	0.00	8.64	8.64	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendezu
Jefe de Laboratorio

ANEXO III. Informes de análisis de pH, conductividad y concentración de plomo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE NOGUEIRA ISLA
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 67767
BOLETA : 2817
FECHA : 06/10/2019

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
4725	GAC-1	8.30	0.97	375.10
4726	GAC-2	8.43	1.15	365.10
4727	GAC-3	8.13	1.23	372.89
4728	GC-1	7.80	1.17	381.17
4729	GC-2	7.80	1.33	377.18
4730	GC-3	7.62	1.16	383.65
4731	HL-1	6.98	1.49	369.65
4732	HL-2	7.00	1.31	371.89
4733	HL-3	7.01	1.21	378.64
4734	MSC-1	7.20	1.74	371.12
4735	MSC-2	7.01	1.90	375.59
4736	MSC-3	6.93	2.10	378.19

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ARTURO ALVA CERVANTES
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 70739
BOLETA : 3717
FECHA : 05/11/2019

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
5033	GAC-1	7.97	0.97	354.00
5034	GAC-2	8.61	1.15	348.12
5035	GAC-3	8.57	1.23	361.90
5036	GC-1	7.8	1.17	369.87
5037	GC-2	7.17	1.33	358.28
5038	GC-3	7.72	1.16	350.18
5039	HL-1	6.91	1.49	362.45
5040	HL-2	6.93	1.31	359.70
5041	HL-3	6.96	1.21	366.10
5042	MSC-1	6.72	1.74	349.12
5043	MSC-2	6.68	1.90	329.29
5044	MSC-3	6.35	2.10	347.15



Bráulio La Torre Martínez
Ing. Bráulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo:349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ARTURO ALVA CERVANTES
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 71081
FACTURA : 6160
FECHA : 05/12/2019

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
5499	GAC-1	7.71	1.12	325.10
5500	GAC-2	7.88	1.18	331.21
5501	GAC-3	8.10	1.20	335.54
5502	GC-1	7.76	1.20	341.89
5503	GC-2	6.85	1.30	337.24
5504	GC-3	7.30	1.18	329.18
5505	HL-1	6.85	1.57	345.78
5506	HL-2	6.89	1.37	338.75
5507	HL-3	6.90	1.39	351.17
5508	MSC-1	6.51	1.77	298.15
5509	MSC-2	6.31	1.93	273.19
5510	MSC-3	5.91	1.94	315.90

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo:349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE NOGUEIRA ISLA
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 71350
BOLETA : 3921
FECHA : 04/01/2020

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
5831	GAC-1	7.72	1.03	286.70
5832	GAC-2	7.46	1.12	301.75
5833	GAC-3	8.07	1.19	289.10
5834	GC-1	7.65	1.21	329.17
5835	GC-2	6.59	1.28	310.89
5836	GC-3	6.98	1.21	288.91
5837	HL-1	6.79	1.62	318.75
5838	HL-2	6.83	1.49	309.35
5839	HL-3	6.86	1.46	335.24
5840	MSC-1	6.02	1.82	253.12
5841	MSC-2	5.84	1.89	232.19
5842	MSC-3	5.86	1.98	279.75


Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo:349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : ARTURO ALVA CERVANTES
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 71653
BOLETA : 3986
FECHA : 03/02/2020

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
315	GAC-1	7.68	1.04	254.10
316	GAC-2	7.40	1.11	266.23
317	GAC-3	7.91	1.14	250.75
318	GC-1	7.49	1.17	309.87
319	GC-2	6.53	1.24	289.18
320	GC-3	6.81	1.22	269.18
321	HL-1	6.78	1.67	301.18
322	HL-2	6.80	1.53	298.78
323	HL-3	6.84	1.49	310.15
324	MSC-1	5.97	1.83	201.18
325	MSC-2	5.82	1.91	185.45
326	MSC-3	5.83	1.97	224.19


Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo:349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA



LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : JORGE NOGUEIRA ISLA
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 72122
BOLETA : 4071
FECHA : 04/03/2020

Número Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	Pb ppm
Lab	Claves			
729	GAC-1	7.65	1.08	232.19
730	GAC-2	7.36	1.14	229.84
731	GAC-3	7.82	1.16	237.18
732	GC-1	7.41	1.19	259.19
733	GC-2	6.49	1.27	254.30
734	GC-3	6.74	1.23	250.89
735	HL-1	6.75	1.70	288.87
736	HL-2	6.78	1.62	280.18
737	HL-3	6.82	1.55	289.76
738	MSC-1	5.94	1.80	151.78
739	MSC-2	5.81	1.94	139.18
740	MSC-3	5.80	2.00	165.17

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo:349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO IV. Informe de análisis foliar inicial



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JORGE NOGUEIRA ISLA
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 43342
BOLETA : 2435
FECHA : 28/09/2019

N. Lab.	CLAVES DE CAMPO	Pb ppm
1022	SENECIO T - INICIAL	4.19



[Signature]
Dr. Sady García Bendezi
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO V. Informe de análisis foliar final



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : ARTURO ALVA CERVANTES
PROCEDENCIA : ANCASH/ BOLOGNESI/ HUALLANCA
REFERENCIA : H.R. 70369
BOLETA : 3627
FECHA : 04/03/2020

N. Lab.	CLAVES DE CAMPO	Pb ppm
4550	GAC-1	138.00
4551	GAC-2	129.12
4552	GAC-3	125.56
4553	GC-1	115.70
4554	GC-2	117.54
4555	GC-3	125.12
4556	HL-1	75.76
4557	HL-2	83.67
4558	HL-3	85.54
4559	MSC-1	215.65
4560	MSC-2	225.71
4561	MSC-3	214.96


Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO VI. Ficha de registro de parámetros de crecimiento en la planta

VARIABLE INDEPENDIENTE	TRATAMIENTOS		PLANTAS	PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LA PLANTA					
				Altura de la planta (cm)		Número de ramificaciones		Número de hojas	
				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
FITOEXTRACCIÓN CON SENECIO TEPHROSIOIDES	T ₁	GAC-1	P1	24.4	40.2	6	10	24	41
			P2	25.2	42.4	5	7	19	39
			P3	28.1	44.6	6	8	27	45
		GAC-2	P4	22.5	39.5	5	8	16	36
			P5	27.2	43.8	7	11	26	42
			P6	30.4	45.7	6	11	30	48
		GAC-3	P7	21.6	36.2	7	10	19	37
			P8	20.8	36.0	6	9	24	30
			P9	29.2	46.4	6	7	29	45
	T ₂	GC-1	P10	27.4	40.6	6	9	32	47
			P11	25.7	38.5	6	9	25	41
			P12	20.8	34.4	8	11	21	36
		GC-2	P13	24.0	36.7	8	12	26	44
			P14	24.2	34.2	7	10	29	44
			P15	27.1	40.4	7	11	33	45
		GC-3	P16	26.6	38.5	8	13	25	41
			P17	21.4	36.2	8	10	25	40
			P18	22.5	35.5	6	9	22	40
	T ₃	HL-1	P19	30.2	41.4	7	11	28	40
			P20	23.6	33.8	8	13	26	42
			P21	29.0	38.2	6	10	31	44
		HL-2	P22	21.3	32.4	6	9	24	38
			P23	25.5	35.8	6	10	30	43
			P24	26.1	26.3	7	11	28	39
		HL-3	P25	29.8	38.6	7	10	28	41
			P26	20.2	32.4	8	12	25	40
			P27	25.5	36.5	7	13	19	35
	T ₄	MSC-1	P28	28.4	52.4	9	14	33	59
			P29	22.7	44.4	8	15	23	51
			P30	23.6	48.7	8	12	20	47
		MSC-2	P31	26.3	46.5	7	13	25	51
			P32	24.0	45.9	8	13	28	54
			P33	27.2	47.3	8	14	23	47
		MSC-3	P34	22.6	50.8	7	13	26	51
			P35	20.8	51.5	7	12	22	49
			P36	28.3	49.2	9	15	35	58

ANEXO VII. Ficha de registro de los parámetros físico-químicos del suelo

		CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO (ppm)							
		TRATAMIENTOS	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	
SUELO CONTAMINADO POR PLOMO	T1	GAC-1	375.10	354.00	325.10	286.70	254.10	232.19	
		GAC-2	365.10	348.12	331.21	301.75	266.23	229.84	
		GAC-3	372.89	361.90	335.54	289.10	250.75	237.18	
	T2	GC-1	381.17	369.87	341.89	329.17	309.87	259.19	
		GC-2	377.18	358.28	337.24	310.89	289.18	254.30	
		GC-3	383.65	350.18	329.18	288.91	269.18	250.89	
	T3	HL-1	369.65	362.45	345.78	318.75	301.18	288.87	
		HL-2	371.89	359.70	338.75	309.35	298.78	280.18	
		HL-3	378.64	366.10	351.17	335.24	310.15	289.76	
	T4	MSC-1	371.12	349.12	298.15	253.12	201.18	151.78	
		MSC-2	375.59	329.29	273.19	232.19	185.45	139.18	
		MSC-3	378.19	347.15	315.90	279.75	224.19	165.17	
			COMPORTAMIENTO DEL PH EN EL SUELO						
			TRATAMIENTOS	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
	T1	GAC-1	8.30	7.97	7.71	7.72	7.68	7.65	
		GAC-2	8.43	8.61	7.88	7.46	7.40	7.36	
		GAC-3	8.13	8.57	8.10	8.07	7.91	7.82	
	T2	GC-1	7.80	7.80	7.76	7.65	7.49	7.41	
		GC-2	7.80	7.17	6.85	6.59	6.53	6.49	
		GC-3	7.62	7.72	7.30	6.98	6.81	6.74	
	T3	HL-1	6.98	6.91	6.85	6.79	6.78	6.75	
		HL-2	7.00	6.93	6.89	6.83	6.80	6.78	
		HL-3	7.01	6.96	6.90	6.86	6.84	6.82	
	T4	MSC-1	7.20	6.72	6.51	6.02	5.97	5.94	
		MSC-2	7.01	6.68	6.31	5.84	5.82	5.81	
		MSC-3	6.93	6.35	5.91	5.86	5.83	5.80	
			COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN EL SUELO (dS/m)						
			TRATAMIENTOS	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
	T1	GAC-1	0.89	0.97	1.12	1.03	1.04	1.08	
		GAC-2	1.21	1.15	1.18	1.12	1.11	1.14	
GAC-3		1.12	1.23	1.20	1.19	1.14	1.16		
T2	GC-1	1.25	1.17	1.20	1.21	1.17	1.19		
	GC-2	1.31	1.33	1.30	1.28	1.24	1.27		
	GC-3	1.22	1.16	1.18	1.21	1.22	1.23		
T3	HL-1	1.58	1.49	1.57	1.62	1.67	1.70		
	HL-2	1.38	1.31	1.37	1.49	1.53	1.62		
	HL-3	1.16	1.21	1.39	1.46	1.49	1.55		
T4	MSC-1	1.83	1.74	1.77	1.82	1.83	1.80		
	MSC-2	2.20	1.90	1.93	1.89	1.91	1.94		
	MSC-3	2.02	2.10	1.94	1.98	1.97	2.00		

ANEXO VIII. Registro fotográfico de la Etapa 1: Recolección y Preparación de Suelos



ANEXO IX. Registro fotográfico de la Etapa 2: Recolección del *Senecio tephrosioides*



ANEXO X. Registro fotográfico de la Etapa 3: Caracterización del suelo contaminado.



ANEXO XI. Registro fotográfico de la Etapa 4: Aplicación de los tratamientos



ANEXO XII. Registro fotográfico de la Etapa 5: Monitoreo de parámetros físico-químicos



ANEXO XIII. Registro fotográfico de la Etapa 6: Medición de altura, número de ramificaciones, número de hojas y análisis de Pb en las plantas al finalizar los tratamientos



ANEXO XIV. Fichas de muestreo de suelo

FICHA DE MUESTREO SUELO: ESTACIÓN PMS-01

Nombre de la Empresa : COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A
Nombre de la Unidad : Unidad Minera Huanzalá
Nombre del Punto : PMS-01
Tipo de Muestra : Calidad de Suelo
Descripción : Humedal laguna Contaycocha
Profundidad : 35 cm

UBICACIÓN

Distrito : Huallanca
Provincia : Bolognesi
Departamento : Ancash
Normativa : ECA D.S. 011-2017-MINAM
Categoría (ECA) : Suelo
Uso del suelo : Suelo agrícola

COORDENADAS UTM.

Norte : 8908470
Este : 281656
Altitud : 3874 m.s.n.m
Zona : 18
Datum : WGS 84

Foto N° 1: Estación de muestreo PMS-01



FICHA DE MUESTREO SUELO: ESTACIÓN PMS-02

Nombre de la Empresa : COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A
Nombre de la Unidad : Unidad Minera Huanzalá
Nombre del Punto : PMS-02
Tipo de Muestra : Calidad de Suelo
Descripción : Ingreso a la laguna Contaycocha
Profundidad : 35 cm

UBICACIÓN

Distrito : Huallanca
Provincia : Bolognesi
Departamento : Ancash
Normativa : ECA D.S. 011-2017-MINAM
Categoría (ECA) : Suelo
Uso del suelo : Suelo agrícola

COORDENADAS UTM.

Norte : 8908412
Este : 281683
Altitud : 3872 m.s.n.m
Zona : 18
Datum : WGS 84

Foto N° 2: Estación de muestreo PMS-02



FICHA DE MUESTREO DE SUELO: ESTACIÓN PMS-03

Nombre de la Empresa : COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A
Nombre de la Unidad : Unidad Minera Huanzalá
Nombre del Punto : PMS-03
Tipo de Muestra : Calidad de Suelo
Descripción : Al costado de la vía Huallanca-Huanzalá
Profundidad : 35 cm

UBICACIÓN

Distrito : Huallanca
Provincia : Bolognesi
Departamento : Ancash
Normativa : ECA D.S. 011-2017-MINAM
Categoría (ECA) : Suelo
Uso del suelo : Suelo agrícola

COORDENADAS UTM.

Norte : 8908533
Este : 282223
Altitud : 3869 m.s.n.m
Zona : 18
Datum : WGS 84

Foto N° 3: Estación de muestreo PMS-03



FICHA DE MUESTREO DE SUELO: ESTACIÓN PMS-04

Nombre de la Empresa : COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A
Nombre de la Unidad : Unidad Minera Huanzalá
Nombre del Punto : PMS-04
Tipo de Muestra : Calidad de Suelo
Descripción : Aguas debajo de la cantera
Profundidad : 35 cm

UBICACIÓN

Distrito : Huallanca
Provincia : Bolognesi
Departamento : Ancash
Normativa : ECA D.S. 011-2017-MINAM
Categoría (ECA) : Suelo
Uso del suelo : Suelo agrícola

COORDENADAS UTM.

Norte : 8907692
Este : 285064
Altitud : 3664 m.s.n.m
Zona : 18
Datum : WGS 84

Foto N° 4: Estación de muestreo PMS-04



FICHA DE MUESTREO DE SUELO: ESTACIÓN PMS-05

Nombre de la Empresa : COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A
Nombre de la Unidad : Unidad Minera Huanzalá
Nombre del Punto : PMS-05
Tipo de Muestra : Calidad de Suelo
Descripción : Altura del Puente Shullana
Profundidad : 35 cm

UBICACIÓN

Distrito : Huallanca
Provincia : Bolognesi
Departamento : Ancash
Normativa : ECA D.S. 011-2017-MINAM
Categoría (ECA) : Suelo
Uso del suelo : Suelo agrícola

COORDENADAS UTM.

Norte : 8906920
Este : 285678
Altitud : 3661 m.s.n.m
Zona : 18
Datum : WGS 84

Foto N° 5: Estación de muestreo PMS-05

