

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL
Rumex acetosella EN LA FITOEXTRACCIÓN DE
METALES PESADOS EN LOS SUELOS DE LOS
PASIVOS MINEROS DEL SINCHAO, PERÚ.

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Roxana Beatriz Cacho Cueva

Sabina Tejada Ayay

Asesor:

Mg. Ing. Maryuri Yoana Vega Eras

<https://orcid.org/0000-0001-5190-0146>

Cajamarca - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 presidente(a)	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Sara Esther García Alva	26615951
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis final

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.upagu.edu.pe

Fuente de Internet

7%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

3

www.conabio.gob.mx

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uaaan.mx

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Ac
Ve

DEDICATORIA

Deseo agradecer a Dios por la vida, por darme salud y fortaleza espiritual, por darme sabiduría para terminar esta investigación y por no dejar que me rinda fácilmente ante las adversidades.

A mis padres por ser mi guía, por su amor incondicional y su paciencia en este largo camino, por enseñarme a luchar por mis sueños.

A mi hijo Gael, a quien amo con todo mi corazón, por ser la personita que me impulsa cada día a ser mejor y me da las mejores alegrías de mi vida.

A mis amigos y familiares por su lealtad y amistad sincera, por darme esos alientos para no rendirme y seguir adelante.

Roxana Beatriz Cacho Cueva

Deseo agradecer a Dios por ser guía en mi camino y permitirme alcanzar mis metas.

Dedicado con todo mi corazón a mis padres, Juan y Petronila pues sin ellos no lo habría logrado, todo lo que soy es gracias a ellos.

A mi hijo Jhoser por ser mi motor y motivo, la razón para seguir adelante e impulsarme a ser mejor cada día y por su amor incondicional.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, por su amor y paciencia hacia mi persona durante este largo camino que no fue fácil.

A mis amigos, por su amistad sincera y apoyo moral cuando más lo necesitaba.

Sabina Tejada Ayay

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por su amor y su bondad, por permitirnos culminar esta tesis y convertirnos en lo que tanto anhelamos.

Gracias a nuestros padres por todo su apoyo, por depositar su confianza en nosotras y por ser un digno ejemplo a seguir.

A nuestra directora de carrera y asesora de tesis, Ing. Maryuri Vega, por su orientación y paciencia, por apoyarnos durante el proceso de investigación

Al Blgo. Marco Sánchez Peña, por su tiempo, por su orientación y todo su apoyo incondicional durante todo el proceso de nuestra investigación, por darnos opciones de investigación y por compartir sus sabios conocimientos para poder elaborar un tema de investigación eficiente.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	6
TABLA DE CONTENIDO	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad problemática	14
1.2. Bases teóricas	17
1.2.1. Contaminación ambiental	17
1.2.2. Fitoextracción	17
1.2.3. Fitorremediación	18
1.2.4. Fitoestabilización	18
1.2.5. Pasivo ambiental minero	18
1.2.6. Minería	19
1.2.7. Contaminación por metales pesados	19
1.2.8. Absorción atómica	19
1.2.9. Metales pesados	20
1.2.10. Factor de Bioconcentración (FBC)	20
1.2.11. Factor de translocación (FT)	20
1.2.12. <i>Rumex acetosella</i>	21
1.3. Formulación del problema	22
1.4. Objetivos	22
1.4.1 Objetivo general.	22

1.4.2	Objetivos específicos	22
1.5.	Hipótesis	23
1.5.1	Hipótesis general	23
1.5.2	Hipótesis específicas	23
	CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	24
2.1.	Tipo de investigación	24
2.2.	Población	24
2.3.	Muestra	24
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	24
2.4.1.	TÉCNICAS	24
2.4.2.	DETERMINACIÓN DEL ÁREA	24
2.4.2.	Instrumentos de recolección	25
2.4.3.	Métodos de recolección de datos	26
2.5.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	27
2.5.1.	Métodos	27
	CAPÍTULO III. RESULTADOS	31
	CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	66
4.1	Discusión:	66
	REFERENCIAS	70
	ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la concentración de metales en suelo contaminado inicial (sin plantas)	31
Tabla 2. Resultados de la concentración de metales en suelo contaminado final (con plantas)	32
Tabla 3. Resultados de concentración de metales en el tallo de la planta	33
Tabla 4. Resultados de la concentración de metales en la raíz de la planta	34
Tabla 5. Resultados de la concentración de metales en tallo de la parcela control.	35
Tabla 6. Resultados de la concentración de metales en la raíz de la parcela control	35
Tabla 8. Cálculos estadísticos para tejido vegetal en suelos contaminados finales.	37
Tabla 9. Prueba de normalidad para los suelos contaminados antes del crecimiento de las plantas.....	37
Tabla 10. Prueba de normalidad para los suelos contaminados con las plantas.....	38
Tabla 11. Prueba de normalidad para los resultados de la concentración de los 12 metales en las raíces de las plantas analizadas y las raíces de las plantas del suelo control.	38
Tabla 12. Prueba de normalidad para los resultados de la concentración de los 12 metales en los tallos de las plantas analizadas y las plantas del suelo control.	39
Tabla 13. Valores de BCF en la raíz de la parcela 1,2 y 3.	63
Tabla 14. Valores de TF en el tallo de la parcela 1, 2 y 3	64
Tabla 15. Valores de BCF para la raíz de la parcela control.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la concentración de metales pesados de suelos iniciales contaminados sin plantas.....	40
Figura 2. Comparación de la concentración de metales pesados de suelos finales contaminados con plantas.....	40
Figura 3. Concentración de Al (mg/kg) en las parcelas 1,2 y 3 en suelo contaminado inicial.	41
Figura 4. Concentración de Arsénico (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	42
<i>Figura 5.</i> Concentración de Bario (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	42
Figura 6. Concentración de Cadmio (mg/kg) en parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	43
Figura 7. Concentración de Cromo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	43
Figura 8. Concentración de Cobre (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	44
Figura 9. Concentración de Magnesio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	45
Figura 10. Concentración de Manganeso (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	45
Figura 11. Concentración de Níquel (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.	46

Figura 12. Concentración de Plomo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.....	47
Figura 13. Concentración de Estroncio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.....	47
Figura 14. Concentración de Zinc (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo inicial contaminado.....	48
Figura 15. Concentración de Aluminio(mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	49
Figura 16. Concentración de Arsénico (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	50
Figura 17. Concentración de Bario (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	50
Figura 18. Concentración de Cadmio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	51
Figura 19. Concentración de Cromo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	52
Figura 20. Concentración de Cobre (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	52
Figura 21. Concentración de Magnesio (mg/kg) en las parcelas 1, 2, y3 en suelo contaminado final con plantas.....	53
Figura 22. Concentración de Manganeso (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	54
Figura 23. Concentración de Níquel (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	54
Figura 24. Concentración de Plomo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	55
Figura 25. Concentración de Estroncio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	56

Figura 26. Concentración de Zinc (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.....	56
Figura 27. Concentración de los 12 metales en el tallo de la parcela 1 en suelo contaminado final con plantas.....	57
Figura 28. Concentración de los 12 metales en tallo de la parcela 2 en suelo contaminado final con plantas.....	58
Figura 29. Concentración de los 12 metales en el tallo de la parcela 3 en suelo contaminado final con plantas.....	59
Figura 30. Concentración de los 12 metales en tallo de la parcela control en suelo contaminado final con plantas.	60
Figura 31. Concentración de los 12 metales en la raíz de la parcela 1 en suelo contaminado final con plantas.....	61
Figura 32. Concentración de los 12 metales pesados en la raíz de la parcela 2 en suelo contaminado final con plantas.	61
Figura 33. Concentración de los 12 metales en la raíz de la parcela 3 en suelo contaminado final con plantas.....	62

RESUMEN

En el presente estudio se determinó la capacidad que tiene la especie *Rumex acetosella* para extraer metales pesados de los suelos contaminados de los pasivos ambientales mineros El Sinchao, en el distrito de Chugur - Provincia de Hualgayoc. Se realizaron análisis para determinar si el *Rumex acetosella* es una especie apta para extraer metales de suelos contaminados. En base a los resultados obtenidos, podemos decir que la mayor concentración de metales se encontró en la raíz, los cuales serían: Al, Cu, Mg, Mn, Ni, y de menor absorción son: As, Ba, Cd, Cr, Sr. Asimismo se calculó el BCF y FT lo que permitió indicar si la planta es fitoextractora o fitoestabilizadora. Realizamos pruebas de Shapiro Wilk, donde se observó que en los 12 metales en el suelo no hay diferencias significativas, ya que los valores son menores a 0,005. Se concluyó que la especie es fitoextractora para los metales: Al, Ba, Cr, Mn, Pb y Zn, y fitoestabilizadora para Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Pb, Sr y Zn, para Ni la especie resulto ser hiperacumuladora.

PALABRAS CLAVES: metales pesados, fitoextracción, fitoestabilización, factor de bioconcentración, factor de translocación, fitorremediación, *Rumex acetosella*.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la provincia de Hualgayoc, se encuentra “El Sinchao”, que limita con Chugur y El Tingo; es una de las zonas más afectadas de esta provincia, en esta zona se encuentra un aproximado de 17 pasivos mineros los cuales fueron dejadas en total abandono por la minería, estos a su vez han generado un drenaje de aguas y suelos ácidos que se observan a primera vista por el color amarillento que tienen, ya que sabemos que no son debidamente tratadas, esto genera la presencia de metales pesados, los cuales a su paso afectan al medio ambiente, de la misma manera a los principales animales, que beben directamente de este recurso hídrico, que abastece quebradas y ríos debajo de dicha provincia.

Sabemos que los metales pesados tienen origen natural de la misma roca madre, así como también de forma antropogénica por las actividades mineras, que en este caso vendría a ser la principal fuente de contaminación, estos metales influyen en la fertilidad del suelo reduciendo la producción de cultivos y provocando daño metabólico en las plantas (Carmelo et al., 2022)

Frente a esta problemática decidimos realizar un trabajo de investigación, en el cual trabajaremos con la especie de la planta *Rumex acetosella*, la cual está considerada según estudios que es apta para la fitoextracción de metales pesados; nos centramos en analizar 12 metales como son: Al, As, Br, Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Pb, Ni, Sr y Zinc los cuales consideramos de mayor toxicidad para el medio.

En los distintos países del mundo se viene practicando la actividad minera, donde están siendo contaminados los suelos, aire y agua por los metales pesados así provocando episodios de contaminaciones severas, (Salas & Hinojosa, 2021) menciona que la fitoextracción las plantas tienen una habilidad de absorber los contaminantes del suelo,

sobre todo los metales pesados por lo que también es una manera fácil de cosechar ya que esta técnica es viable.

Las plantas tienen la capacidad para acumular metales pesados en su raíz y sus tejidos durante mucho tiempo, ya que son biodegradables, sin embargo pueden tener efectos negativos al ser ingeridas por los animales; es por ello que se hace uso de la fitorremediación que es una tecnología sustentable, en la cual, se utiliza el potencial de las plantas para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos, los metales principalmente son absorbidos por su raíz, de esa manera eliminan a los metales del suelo (Caliope et al., 2021)

Según estudios llevados a cabo por (Munive et al., 2018) las aguas del río Mantaro presentan elevadas concentraciones de metales pesados como Cd, As, Cu, Cr, Pb y Zn, las mismas que son utilizadas para los diferentes riegos. Para ello usaron el maíz (*Zea mays L.*) en suelos agrícolas, en el cual obtuvieron como resultados que el mayor contenido de metales es de Pb y Cd, y que la mayor concentración de estos se encuentra en la raíz de la planta; los cuales presentan efectos negativos en la planta tales como el crecimiento más lento y menor rendimiento de materia seca de hojas, tallo y raíz. En base a los factores de bioconcentración y translocación, el maíz se comporta como una planta excluyente o estabilizadora.

En una investigación realizada por (Ramírez et al., 2019) donde estudiaron el potencial fitorremediador de la especie *Ambrosia ambrosioides*, para determinar la absorción de metales pesados como son el Cu, Cd y Pb, determinaron que la mayor concentración de metales se encuentra en la raíz, ya que uno de los principales mecanismos de resistencia y tolerancia de las plantas a los metales pesados es la retención del metal en la raíz, a diferencia de la concentración de metales en las hojas es menor, debido a que el suelo restringe su absorción y translocación hacia las hojas. Como resultado obtuvieron que el cobre es el metal de mayor absorción por la planta y según el factor BFC (factor de bioconcentración) es mayor a 1, lo cual indica que la especie *Ambrosia ambrosioides* es fitoextractora y puede ser utilizada para la fitorremediación de suelos.

En un estudio realizado por (Huaranga et al., 2021) evaluaron la fitoextracción de los metales como son el Pb y Cd, por el *Lolium multiflorum L.* también conocida como el rabo del zorro. La cuales se realizaron en suelos contaminados por material de relave minero los cuales contienen metales pesados; para ello utilizaron 2 muestras de suelo de 300mg/kg cada una para determinar el grado de asimilación de los metales pesados a nivel de raíz, tallo y

hojas, donde concluyeron que el metal que tiene mayor nivel de absorción es el Pb en 125 días que duro la experimentación.

La presencia de metales pesados como As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn y Hg ponen en peligro la interacción del hombre con el medio ambiente y plantean un riesgo para la calidad del suelo, por lo cual podemos mencionar que en la Ciudad de Puno (Fernandez, Mullisaca, & Huanchi, 2022) evaluó el nivel de contaminación de suelo por metales por medio del índice de geo-acumulación que ejerce el PH y la materia orgánica, utilizando los residuos generados de las zonas mineros, donde se mostró que existe contaminación por As, Cd y Pb en grado de moderado, por lo que la presencia del el As, Cd y Pb consideradas altamente nocivos.

En otra investigación llevada a cabo por (Vizconde, 2023) donde realizó un estudio de fitorremediación en suelos de una planta minera donde encontraron altas concentraciones de metales pesados por lo que dedujeron que la planta presenta un alto riesgo ambiental, es por ello que utilizaron como especie fitorremediadora al *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum* para la recuperación de suelos, en la cual obtuvieron como resultado que las dos especies tienen eficacia fitorremediadora, y la raíz es la parte que absorbe la mayor cantidad de metales pesados que en la parte aérea. Según sus valores de TF son inferiores a 1 lo cual indica que las plantas son fitoestabilizadoras en la raíz, de igual forma el FBC para la raíz se muestran excluyentes para los metales As y Ni y acumuladoras para Ag, Cd, Cu, Pb y Zn.

En un estudio que realizaron (Dávila & Walter, 2017) determinaron que las especies de mayor importancia son: *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus*; donde concluyeron que la mayor acumulación de metales pesados en las especies se da en la raíz, a excepción de la *Lachemilla Orbiculata* que la acumulación de metales se concentra en el tallo de la planta, asimismo concluyeron que serían especies fitoextractoras de Mg y Mn; la especie *Lachemilla Orbiculata* también sería fitoextractora de Sr y Zn. Las especies aplicadas en técnicas de fitoestabilización serían; *Calamagrostis tarmensis* para el TI, *Paspalum bonplandianum* para el Sb, Zn y Cr, *Carex pichinchensis* para el Zn, *Lachemilla orbiculata* para el Cd y Mn y *Juncus conglomeratus* para el Cd, Cr y Zn.

Asimismo, en otro estudio realizado por Lezama y Saldaña (2018) efectuaron un análisis con 3 especies en las cuales seleccionaron las que tienen mayor valor de importancia como son el *Paspalum tuberosum*, *Pennisetum clandestinum* y *Trifolium repens*; en el cual calcularon el factor de bioconcentración (BCF) en la raíz del *Paspalum tuberosum*, esta especie resulta ser acumuladora de Ag y excluyente al As, Cu, Pb, Sb, Zn, Al, Fe; el *Pennisetum clandestinum* es acumuladora de Ag y es excluyente al As, Cu, Pb, Al y Fe; el *Trifolium repens*, mostró un BCF raíz excluyente a todos los metales pesados. Por otro lado, la concentración de metales pesados en la parte aérea del *Paspalum tuberosum*, *Pennisetum clandestinum* y *Trifolium repens* presentó un BCF aérea excluyente a todos los metales. Donde el TF en el *Paspalum tuberosum* y *Pennisetum clandestinum* no trasladan los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta; mientras tanto el *Trifolium repens* mostró un TF hiperacumulador de Ag, Sb, Cu y Zn.

Por otro lado, una investigación realizada por (Izquierdo & López, 2020), donde analizaron la concentración de metales en suelos contaminados y no contaminados al igual que en las especies con el fin de compararlas; donde el factor de bioconcentración (BCF) las especies resultaron excluyentes, a diferencia del factor de translocación (TF) que mostró el *Carex mandoniana* son fitoestabilizadoras y el *Muehlenbeckia tamnifolia* resultó hiperacumuladora de metales pesados.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Contaminación ambiental

En Perú, la ley se encarga de los aspectos generales ambientales ya que el derecho de una persona es vivir en un ambiente sano y saludable.

La mayor amenaza medioambientales para la salud humana, junto al cambio climático es la contaminación del aire, presencia de componentes nocivos ya sea biológica o cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza según (Villa, 2019) a consecuencia de esto, conducen al calentamiento global.

1.2.2. Fitoextracción

Este proceso se refiere al uso de plantas para la captación de metales contaminantes que se llevan a cabo desde las raíces, algunas plantas absorben mayor cantidad de metales en comparación con otras. La fitoextracción continua de largo plazo que se basa en procesos naturales, por lo cual tiene las ventajas de utilizar especies vegetales como depuradores de

suelos, ya que el tratamiento realizado in situ, es un método para descontaminar. Todas las plantas absorben metales del suelo, pero en distinto grado, el Ni llega a ser menos absorbidos en suelos, ya que es fácilmente absorbido por las plantas y ser ligeramente tóxico para las mismas. (Arely, 2017)

1.2.3. Fitorremediación

Según (Valverde, 2018) la contaminación por metales pesados en los suelos, procedentes de las minas, permitió poner en práctica técnicas biológicas de recuperación basadas en el uso de plantas (fitorremediación), la cual consiste en absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, para así recuperar suelos contaminados tanto compuestos orgánicos e inorgánicos, es una técnica de costoso accesibles que se realiza in situ, por las que las plantas deben ser sembradas en lugares afectadas, a través de procesos bioquímicos, por lo cual producen la reducción, mineralización, degradación, volatización y estabilización de los contaminantes.

(Lizardo, 2019) señala, que las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales, ya que estas son capaces de absorber y acumular metales en cuanto a su entorno, hay diferentes especies que toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo.

1.2.4. Fitoestabilización

Proceso en el cual se usan plantas para inmovilizar contaminantes presentes en los suelos a través de su absorción y acumulación en las raíces, estos mecanismos conducen a la estabilización física de los suelos a través de su reducción en la movilidad, toxicidad y biodisponibilidad de los contaminantes. Cabe resaltar que esta es eficiente en suelos con alto contenido de materia orgánica y de textura fina, además se aplica en suelos con contaminación superficial (Delgadillo et al., 2017)

1.2.5. Pasivo ambiental minero

Según la (Ley N°28271, 2004) ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, en su artículo 2° establece que un pasivo ambiental minero son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas, las cuales constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

1.2.6. Minería

La minería es una actividad de exploración y extracción de minerales que están acumuladas en el suelo que nos permiten identificar minerales. La actividad minera genera residuos como depósitos de relave, donde estos restos pueden ingresar al ecosistema terrestre, pudiéndose así producir fuertes impactos ambientales.

Sin embargo, (Sepúlveda, Pavez, & Tapia, 2012) menciona que hay un lento proceso de revegetación, naturalmente hay grupos pequeños de plantas que pueden tolerar y absorber el alto nivel de metales llamados también hiperacumuladoras, donde pueden concentrar entre 1000 y 10000 mg/kg (0.1% al 1% del peso seco).

Los pasivos ambientales mineros son aquellas instalaciones, restos o depósitos producidos por antiguas operaciones mineras abandonadas que constituyen un riesgo para la salud de la población y del ecosistema, donde la contraloría general de la república hizo el inventario de suelos pasivos por lo cual existen 7956 pasivos ambientales mineros (PAM), tan solo en el año 2020 (Castillo et al., 2021)

1.2.7. Contaminación por metales pesados

Puede ser originado por la actividad del hombre o de forma natural como el origen antrópico, por lo general es la acumulación de contaminantes provenientes del aire, del agua concentradas en el suelo, estas afectaciones han sido relavadas en la agricultura, actividades mineras donde se han registrado niveles peligrosos de cadmio en los cultivos.

El reglamento de la ley N°31189, ley para fortalecer la prevención, mitigación y atención de la salud afectada por la contaminación con metales pesados y otras sustancias químicas. En su artículo 8, indica que tiene como objetivo establecer las disposiciones para el cumplimiento adecuado de esta ley. para fortalecer la prevención, mitigación y atención de la salud afectada por la contaminación por metales pesados y otras sustancias químicas, así como la promoción de la salud y atención integral de salud, garantizando los derechos a la salud, a un ambiente saludable y a la participación ciudadana, especialmente a las poblaciones vulnerables.

1.2.8. Absorción atómica

Según (Lopez & Rodriguez, 2018) la absorción atómica es utilizada para la determinación del contenido de los metales pesados, así como en agua, bebidas alcohólicas,

en la industria cosmética tiene una grande aplicación para determinaciones cuantitativas y cualitativas de los metales pesados que están presentes.

1.2.9. Metales pesados

Son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, potencialmente tóxicos, los cuales tienen efecto en la salud y afectan diferentes órganos; en el medio ambiente principalmente afectan al suelo cambiando su alcalinidad. La mayoría de ellos se utiliza en procesos industriales como la minería, la reparación de baterías y el galvanizado (Rodríguez, 2017)

1.2.10. Factor de Bioconcentración (FBC)

Está definido como la medida que indica la capacidad o eficiencia que tiene las plantas para acumular metales pesados en su raíz y la parte aérea con relación a la concentración de metales pesados existentes en el suelo, el cual se debe calcular en base a peso seco; el cual se calcula dividiendo la concentración en la fitomasa de la planta entre la concentración del elemento del suelo. (Dávila & Walter, 2017) en su estudio de investigación, en el cual citan a (Olivares & Peña, 2009) indican que el factor de bioconcentración se calcula con la siguiente fórmula:

$$BCF_{raíz} = [\text{metal}]_{raíz} / [\text{metal}]_{suelo}$$

$$BCF_{aérea} = [\text{metal}]_{aérea} / [\text{metal}]_{suelo}$$

Dónde:

Si $BCF < 1$, no presenta bioacumulación

Si $1 > BCF > 10$, presenta acumulación intermedia

Si $BCF > 10$, alto potencial de bioacumulación

1.2.11. Factor de translocación (FT)

El factor de translocación es una medida, mediante la cual se transporta un metal desde la raíz hasta la parte aérea de la planta; el cual se obtiene al dividir la fitomasa aérea entre la fitomasa de la raíz. (Dávila & Walter, 2017) en su estudio de investigación, citando a (Olivares & Peña, 2009) indican que el factor de translocación se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FT = \frac{\text{metales pesados (hojas o tallos)}}{\text{concentración en el medio(raíces)}}.$$

Dónde:

Si $TF > 1$, la planta es hiperacumuladora; es decir la planta traslada los metales de la raíz a la parte aérea.

Si $TF < 1$, la planta es fitoestabilizadora; es decir la planta no traslada los metales de la raíz a la parte aérea.

1.2.12. *Rumex acetosella*

El *Rumex acetosella*, también conocida como acederilla o vinagrita, es una planta perenne que llega a crecer hasta 40cm de altura, ya sea en tierras cultivadas o silvestres, entre 1600 y 4000 m.s.n.m, se encuentra principalmente en suelos ácidos, habitando montañas, bosques de coníferas o pastizales. Comúnmente son dioicas; es decir sus flores femeninas y las masculinas se encuentran en diferentes plantas, poseen un aspecto delicado, rizomatosa, ascendente y sin pelos (Hanan & Mondragón, 2009)

- **Clasificación taxonómica:**

Reino: Plantae

Familia: Polygonaceae

Orden: Caryophyllales

Clase: Magnoliopsida

Clasificación superior: Rumex

División: Magnoliophyta

- **Descripción Técnica:**

Raíz: Con tallos subterráneos es decir está formado por rizomas.

Tallo: Erguido y con puntas ascendentes, algunas simples, otras ramificadas, sin pelos, en la parte donde crece la hoja se encuentra la ocrea (tubo membranoso, traslucido que se rompe y destruye pronto).

-Hojas: Son alternas, la mayoría de ellas llega a medir un aproximado de 6cm, sobre peciolo de 1 a 10 cm de largo, lamina oblonga, elíptica o lanceolada, las cuales tienen dos pequeños lóbulos triangulares cerca de la base, de 1.6 cm de largo y 0.4 hasta 1.5 cm de ancho, presentan un ápice

la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú agudo o acuminado, sus hojas superiores son más chicas y sin lóbulos de la base.

-Flores: Son muy pequeñas que llegan a medir de 1 a 1.5mm de largo, por lo general son unisexuales, su color es rojo y en algunos casos amarillas, las masculinas con 6 pétalos (tépalos) y 6 estambres muy cortos y en el caso de las femeninas con 3 pétalos (tépalos) internos más largos que los externos, estos pueden estar libres o bien soldados al ovario, con 3 estilos muy ramificados en el ápice.

-Frutos y semillas: El fruto es seco y la semilla es un aquenio (es decir de una sola semilla), esta dispersa rodeada por el perianto, aquenio de un contorno elíptico de hasta 1.3mm de largo y 1.1 mm de ancho.

-Plántulas: Hipocótilo cilíndrico de 2 -6 mm de largo, sin pelos, color verde rojizo, cotiledones subsésiles, elípticos a estrechamente elípticos, 1.5 – 1.8 mm de ancho, borde entero, base atenuada, sin hipocótilo y hojas alternas arrosetadas.

1.3. Formulación del problema

¿Es posible que la especie del *Rumex acetosella* tenga la capacidad de fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú?

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Determinar la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú.

1.4.2 Objetivos específicos

-Determinar la concentración de metales pesados: Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr y Zn en el suelo del *Rumex acetosella*, de las áreas contaminadas del Sinchao.

-Identificar en que parte de la planta existe mayor acumulación de metales pesados.

-Reconocer el tipo de fitorremediación que realiza la especie *Rumex acetosella* en la concentración de metales pesados.

-Determinar el factor de bioconcentración y el factor de translocación, de los metales pesados en la especie *Rumex acetosella*.

-Comparar los resultados de suelos contaminados y no contaminados con los estándares de calidad ambiental.

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- La especie *Rumex acetosella* es capaz de fitoextraer los metales pesados de los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú.

1.5.2 Hipótesis específicas

- El suelo de los pasivos mineros el Sinchao, presentan elevadas concentraciones de metales pesados.

-La parte de la raíz de la especie es donde se acumulan más cantidad de metales pesados.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, puesto que no se realiza alguna manipulación intencional de las variables. De igual forma es transversal, correlacional-causal; ya que este proyecto tiene por finalidad describir la relación que existe en la concentración de metales pesados entre el suelo y la especie llamada *Rumex acetosella*.

2.2. Población

Todos los pasivos mineros del Sinchao.

2.3. Muestra

La muestra la obtuvimos de las 4 parcelas en las que se sembró *Rumex acetosella*, de las cuales 3 parcelas fueron sembradas con suelos contaminados alterados por la minería y 1 de ellos es la muestra control con suelo natural (orgánico), para el análisis se recolectó 38 muestras de las cuales 14 muestras pertenecieron a suelos y 24 pertenecieron al tejido vegetal, para dicho muestreo se tuvo en cuenta la parte aérea de la planta, así como la raíz. En cada parcela se analizó 18 metales pesados a cargo del laboratorio INIA, de los cuales seleccionamos 12 metales los cuales consideramos de mayor importancia para nuestro estudio de investigación.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1. Técnicas

2.4.2. Determinación del área

Primeramente, se realizó una visita a dicho lugar de estudio, ya que se tenía que ver las rutas de acceso, identificación de problemas sociales, etc. El Sinchao se encuentra a 3899 m.s.n.m. posición 17M 0759007 UTM 9256068 de la provincia de Hualgayoc, limita con el distrito de Chugur y la comunidad el Tingo. Es considerado un pasivo minero inactivo más importante de los últimos años en el norte del Perú, debido a que proyecta ser un depósito de Cu, Au, Zn de gran tonelaje.

2.4.2. Instrumentos de recolección

En esta investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

-GPS

-Wincha

-Cuadrado de madera de 1m x 1m

-Bolsas ziploc utilizamos en la recolección de las muestras de suelo y plantas.

-Plumón indeleble

-Tijeras

-Plásticos

-Pico

-Madera cuadrada de 1m x 1m.

-Clavos

-Palana

-Balde

-Libreta de apuntes.

-Lapiceros

- Guantes quirúrgicos

- Cámara fotográfica

- Balde

2.4.3. Métodos de recolección de datos

- **Observación del terreno**

En primer lugar, se realizó la visita al área de estudio para conocer los pasivos ambientales mineros (SINCHAO) obteniendo las siguientes coordenadas con una altura 3899 msnm, UTM 9256428 para la ubicación del punto de muestreo.

Por otro lado, observamos el estado de los suelos que muestran un color amarillento característico de suelos que han sido alterados negativamente por la presencia de sustancias contaminantes las cuales han sido depositadas por la actividad humana, según establece el MINAM (D.S. N° 002-2013). En los alrededores se puede observar el crecimiento de plantas herbáceas, las cuales se han adaptado a las condiciones de dicho lugar.

En una segunda visita realizamos el sembrado de la especie *Rumex acetosella*, la cual se realizó mediante estacas; esto procedimiento se realizó en época de estiaje por lo que teníamos que viajar semanal hacer el riego de las plantaciones.

Se recopiló información a través de fotografías del entorno, apuntes se identificó los problemas ambientales y sociales donde fue fundamental para tener un gran apoyo en la investigación.

El crecimiento de la planta a *Rumex acetosella* estuvo en constante monitoreo durante 18 meses, en la que la planta alcanzó su madurez sexual.

En la última visita se procedió a la extracción de las plantas, así como también la toma de muestra del suelo contaminado, para posteriormente llevarlos a laboratorio donde serían analizadas.

- **Muestra de suelo**

Según Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014) con el Decreto Supremo N.º 002-2013- el muestreo de identificación para suelos tiene por objetivo investigar la existencia de la contaminación de los suelos a través de la toma de muestras, Las cuales después de ser analizadas deberán ser comparadas con los estándares de calidad ambiental para suelos (ECA); asimismo la profundidad de muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminantes a estudiar y así determinar las concentraciones de nivel de fondo.

Sin embargo, para muestras superficiales según el MINAM (2014) se considera que la toma de muestra debe ser aproximada de un metro de profundidad, y sus técnicas usadas deben ser por zanjas u hoyos, en nuestro caso se tomó 500 gramos de suelo para ser llevada a laboratorio para realizar los análisis.

- **Muestras de tejido vegetal**

Para el análisis de la planta se tomó en cuenta la raíz, así como la parte aérea (tallo y hojas). Según (Huaranga, 2022) menciona que la planta al absorber de metales mediante los folículos pilosos de la raíz, generan alteraciones en la estructura celular y durante el proceso fotosintético, asimismo retarda el crecimiento.

2.5. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

2.5.1. Métodos

- **Duración del estudio**

El estudio tuvo una duración de 18 meses, considerando en el mes de mayo del 2022 la primera siembra mediante semillas, en la cual no obtuvimos resultados favorables para nuestro estudio, finalizando así, con la entrega de resultado de los análisis de laboratorio en el mes de noviembre del 2023.

- **Procedimiento del trabajo del campo**

Para llevar a cabo el estudio, se inició con el sembrado de las plantas en una parcela por el método del cuadrado de 1m x 1m por el método de semillas durante 45 días; por lo cual con el transcurso del tiempo no hubo ningún desarrollo de crecimiento de las plantas.

Ante estos resultados desfavorables, optamos por el método de sembrado mediante estacas, la cual tuvo resultados favorables para nuestro estudio, posteriormente se sembramos en las 3 parcelas conteniendo así 100 plantaciones en cada una de ellas. En el transcurso de nuestro desarrollo el clima fue variando debido a que se sembró en época de estiaje por ende afecto al desarrollo por un lapso de 3 meses así retrasando el crecimiento de las plantas, por lo cual se tenía que estar en constante regadío de agua.

Posteriormente se presentó las precipitaciones pluviales donde fue recuperándose en su crecimiento, ya un tamaño determinado se pudo tomar las muestras para sus análisis correspondientes en el laboratorio a analizar.

- **Colección de muestras de suelo**

Se colectaron 14 muestras compuestas de suelo de 1kg, evaluada en la zona del Sinchao, luego las muestras se colocaron en bolsas con cierre hermético (ziploc) y fueron selladas con la información correspondiente, para luego ser enviadas al laboratorio de suelos para el análisis de metales pesados.

Etiquetado

P = número de parcelas

P1-SDT1	parcela 1, suelo después del tratamiento 1	P2-SDT1	P3-SDT1
P1-SDT2	parcela 1, suelo después del tratamiento 2	P2-SDT1	P3-SDT2
P1-SAT1	parcela 1, suelo antes del tratamiento 1	P2-SAT1	P3-SAT1
P1-SAT2	parcela 1, suelo antes del tratamiento 2	P2-SAT2	P3-SAT2

MSC1 muestra suelo control 1

MSC2 muestra suelo control 2

- **Colección de muestras del tejido vegetal.**

Seguidamente en las plantas las muestras fueron secadas a temperatura ambiente, después se separaron en dos partes en raíz y otra en tallo y hojas, de las cuales se recolectaron 24 muestras de tejido vegetal para así luego ser colocadas en bolsas ziploc con sus respectivas codificaciones, finalmente ser enviadas al laboratorio para sus respectivos análisis.

Etiquetado

P = número de parcelas

M1 = número de muestras

P1 -HT1	parcela 1 de hoja y tallo muestra 1		
P1 -HT2	parcela 1 de hoja y tallo muestra 2	P2 -HT1	P3 -HT1
P1 -HT3	parcela 1 de hoja y tallo muestra 3	P2 -HT2	P3 -HT2
P1-R1	parcela 1 raíz muestra 1	P2 -HT3	P3 -HT3
P1-R2	parcela 1 raíz muestra 2	P2-R1	P3-R1
P1-R3	parcela 1 raíz muestra 3	P2-R2	P3-R2
MC-HT1	muestra control de hoja y tallo	P2-R3	P3-R3
MC-R1	muestra control raíz		

- **Tratamiento de datos**

Una vez obtenida los datos del contenido de metales pesados, se hizo la prueba ANOVA, mediante la cual se va analizar la media, desviación estándar y la varianza para los suelos contaminados, no contaminados, de igual manera se sacó los mismos datos para el tallo y la raíz de la planta. Se hizo uso del IBM SPSS estadístico 23, donde utilizamos este programa para tener análisis más precisos y conclusiones más fiables.

Por otro lado, Según (Flores & Flores, 2021) la prueba de normalidad (Shapiro Wilk) se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos determinando la significancia estadística.

Finalmente realizamos gráficos de los suelos contaminados iniciales sin plantas y suelos contaminados finales con plantas, así como también de la parcela control. Asimismo, elaboramos gráficos para el tejido vegetal de cada parcela (raíz y tallo).

- **Análisis de concentración de metales en suelo y tejido vegetal**

Nuestros análisis químicos fueron realizados en el laboratorio INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria) el cual se encuentra acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad) bajo la norma técnica NTP-ISO/IEC 17025:2017.

-Para suelos:

Metales MP-AES 4210 / EPA 3050. Digestión Ácida de Sedimentos, Lodos y Suelos. Revisión 2. diciembre. Versión (1996).

-Para tejido vegetal:

Metales MP-AES 4210 /EPA 3050. Digestión Ácida de Sedimentos, Lodos y Suelos. Revisión 2. diciembre. Versión (1996).

CÁPITULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de suelos

A continuación, se muestra los resultados de suelo que fueron tomados de las 3 parcelas, los cuales fueron enviados analizar al laboratorio INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria).

Tabla 1. *Resultados de la concentración de metales en suelo contaminado inicial (sin plantas)*

Metal (mg/kg)	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3			Promedio global
	M1	M2	Promedio	M1	M2	Promedio	M1	M2	Promedio	
Aluminio (Al)	3558,03	3757,15	3657,59	4194,40	4445,07	4319,74	3338,83	3687,83	3513,33	3830,22
Arsénico (As)	137,99	137,07	137,53	132,42	131,17	131,80	99,80	110,97	105,38	124,90
Bario (Ba)	15,55	20,38	17,96	12,51	17,89	15,20	15,29	18,48	16,89	16,68
Cadmio (Cd)	95,36	97,21	96,28	93,90	92,16	93,03	60,99	62,94	61,97	83,76
Cromo (Cr)	15,01	14,55	14,78	14,55	14,13	14,34	12,67	13,19	12,93	14,02
Cobre (Cu)	3467,38	3845,27	3656,33	3496,75	3966,19	3731,47	3621,91	4024,87	3823,39	3737,06
Magnesio (Mg)	596,73	610,00	603,37	644,10	727,70	685,90	617,71	1166,86	892,29	727,18
Manganeso (Mn)	854,71	1251,31	1053,01	902,63	1386,96	1144,79	824,63	947,36	886,00	1027,94
Níquel (Ni)	3470,56	3376,77	3423,67	3493,87	3452,78	3473,32	3561,07	3494,31	3527,69	3474,89
Plomo (Pb)	201,70	344,26	272,98	195,80	324,91	260,35	245,93	559,62	402,77	312,04
Estroncio (Sr)	6,18	9,63	7,91	5,25	8,09	6,67	6,36	8,92	7,64	7,40
Zinc (Zn)	874,91	858,67	866,79	768,83	759,97	764,40	606,28	581,45	593,86	741,69

Según el promedio global los metales de mayor concentración en suelos contaminados iniciales son: Al, Cu, Mn, Zn, Mg, y los metales de menor concentración son: Sr, Cr, Cd, Ba, As y Pb.

Tabla 2. Resultados de la concentración de metales en suelo contaminado final con plantas.

Metal (mg/kg)	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3			Promedio global	control 1 Control		
	M1	M2	Prom.	M1	M2	Prom.	M1	M2	Prom.		R1	R2	Prom.
Aluminio (Al)	8523,9 3	7847,8 2	8185,8 8	5559,9 1	5637,8 7	5598,8 9	6312,2 5	7068,0 2	6690,1 3	6824,97	23010,4 2	22716,6 3	22863,5 2
Arsénico (As)	109,19	114,62	111,91	84,87	85,03	84,95	90,33	90,34	90,34	95,73	12,97	9,91	11,44
Bario (Ba)	34,31	28,39	31,35	31,60	30,81	31,21	25,23	31,44	28,34	30,30	48,83	48,61	48,72
Cadmio (Cd)	77,93	75,85	76,89	48,83	49,37	49,10	42,28	48,69	45,49	57,16	3,47	5,13	4,30
Cromo (Cr)	24,46	25,05	24,75	16,05	16,35	16,20	16,99	19,57	18,28	19,74	69,66	66,57	68,11
Cobre (Cu)	3259,3 0	3244,4 3	3251,8 7	3561,8 9	3635,6 3	3598,7 6	3697,2 7	3383,8 9	3540,5 8	3463,74	690,93	603,81	647,37
Magnesio (Mg)	3614,5 6	3262,8 2	3438,6 9	1441,8 7	1455,5 0	1448,6 8	1870,6 9	2218,1 6	2044,4 2	2310,60	12037,1 7	11959,3 6	11998,2 6
Manganeso (Mn)	2643,9 1	2077,3 5	2360,6 3	2443,4 8	1726,6 4	2085,0 6	1973,0 6	3822,2 3	2897,6 5	2447,78	2956,0	3032,25	2994,33
Níquel (Ni)	2519,0 8	2619,7 0	2569,3 9	3017,3 4	3054,9 9	3036,1 6	3120,1 5	2895,2 5	3007,7 0	2871,09	698,15	639,77	668,96
Plomo (Pb)	257,90	204,80	231,35	226,50	144,28	185,39	225,53	689,35	457,44	291,39	1303,09	1375,71	1339,40
Estroncio (Sr)	25,34	23,54	24,44	14,89	16,24	15,57	13,03	17,50	15,27	1842	66,50	66,06	66,28
Zinc (Zn)	1417,0 4	1376,8 3	1396,9 3	1037,7 3	964,15	1000,9 4	1257,5 2	1745,6 3	1501,5 8	1299,82	5337,50	5180,03	5258,76

Se observa los resultados de la concentración de metales en suelo contaminando con plantas, donde tenemos un valor general de las parcelas 1,2 y 3 con mayor concentración de Al, Cu, Mg, Ni, Zn. Asimismo, del suelo control se obtuvo que Al y Mg se encuentran en mayor concentración.

3.2. Resultados del tejido vegetal

A continuación, se muestra los resultados de metales en tallo y raíz, así como de la parcela control, sumando un total de 24 muestras de la planta; posteriormente fueron enviados analizar al laboratorio INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria).

Tabla 3. *Resultados de concentración de metales en el tallo de la planta*

metal (mg/kg)	Parcela 1				parcela2				parcela3				Prom. global P1- P2- P3
	Tallo 1	Tallo 2	Tallo 3	Prom.	Tallo 1	Tallo 2	Tallo 3	Prom.	Tallo 1	Tallo 2	Tallo 3	Prom.	
Aluminio (Al)	4172,71	5380,41	4297,99	4617,04	808,92	1102,14	1304,08	1071,71	1074,68	1019,4	1176,82	1090,30	2259,68
Arsénico (As)	10,19	6,97	6,79	7,98	2,15	2,52	3,02	2,56	3,79	3,73	3,21	3,58	4,71
Bario (Ba)	15,5	22,92	14,21	17,54	9,16	9,09	9,78	9,34	9,88	10,69	8,98	9,85	12,25
Cadmio (Cd)	12,23	8,83	8,39	9,82	3,59	3,62	4,98	4,06	4,88	4,16	3,37	4,14	6,01
Cromo (Cr)	8,62	10,82	9,6	9,68	2,8	2,7	3,08	2,86	2,44	3,85	2,88	3,06	5,20
Cobre (Cu)	363,39	395,1	356,18	371,56	245,46	331,99	395,08	324,18	445,94	504,19	403,57	451,23	382,32
Magnesio (Mg)	5836,59	6316,14	5473,14	5875,29	1492,44	1826,01	1870,28	1729,58	1563,18	1611,87	1489,88	1554,98	3053,28
Manganeso (Mn)	483,3	568,79	481,16	511,08	378,07	397,68	577,39	451,05	563,12	478,11	470,69	503,97	488,70
Níquel (Ni)	35,39	34,89	31,36	33,88	21,74	32,11	40,73	31,53	30,63	25,95	27,14	27,91	31,10
Plomo (Pb)	58,6	72,84	66,56	66,00	19,89	22,56	26,35	22,93	35,79	33,8	34,9	34,83	41,25
Estroncio (Sr)	67,46	79,48	67,35	71,43	61,43	61,76	59,26	60,82	44,03	47,36	25,42	38,94	57,06
Zinc (Zn)	745,47	835,78	780,1	787,12	166,89	197,96	197,86	187,57	189,82	204,62	198,6	197,68	390,79

Se sacó un promedio global de las 3 parcelas para cada metal, ya que por cada parcela se sacó 3 réplicas de muestras, donde se observa que los metales de

Mayor acumulación en las hojas y tallo son: Al, seguidamente del Mg, Cu, Zn y Mn.

Tabla 4. Resultados de la concentración de metales en la raíz de la planta

metal (mg/kg)	Parcela 1				Parcela 2				Parcela 3				Prom. global
	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Prom.	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Prom.	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Prom.	
Aluminio (Al)	15263,2 7	19270,2 1	6092,4 9	13541,9 9	8843,3 5	12296,7 7	12466,5 8	11202,2 3	86105,2 9	7839,5 1	14867	10437,2 7	11727,1 6
Arsénico (As)	7,73	6,66	8,95	7,78	13,49	7,18	6,75	9,14	5,85	7,00	14,16	9,00	8,64
Bario (Ba)	32,22	44,56	23,58	33,45	47,31	65,27	58,73	57,10	46,43	23,16	40,87	36,82	42,46
Cadmio (Cd)	9,65	9,97	10,53	10,05	15,63	10,95	10,46	12,35	13,39	8,75	19,04	13,73	12,04
Cromo (Cr)	35,33	43,41	11,06	29,93	14,24	21,41	13,65	16,43	16,6	16,78	31,74	21,71	22,69
Cobre (Cu)	440,38	640,59	301,59	460,85	731,76	791,57	756,64	759,99	1417,76	604,49	1204,74	1075,66	765,50
Magnesio (Mg)	14093,0 1	16074,3 8	5659,4 2	11942,2 7	5320,8 2	6906,66	3331,92	5186,47	5006,58	6398,2 0	10609,1 2	7337,97	8155,57
Manganes o (Mn)	1071,88	1770,3	427,81	1090,00	1336,9 4	1133,78	1135,15	1201,96	1201,37	991,17	1520,29	1237,61	1176,52
Níquel (Ni)	31,32	56,88	21,58	36,59	46,68	83,64	71,68	67,33	120,77	54,59	110,48	95,28	66,40
Plomo (Pb)	225,09	322,19	66,82	204,70	85,89	140,89	64,62	97,13	118,12	437,40	300,62	285,38	195,74
Estroncio (Sr)	161,62	157,02	112,77	143,80	115,59	148,43	115,75	126,59	53,56	51,07	61,83	55,49	108,63
Zinc (Zn)	2072,97	2861,23	731,6	1888,60	961,88	1031,57	538,36	843,94	866,35	1624,7 2	2447,95	1646,34	1459,63

De la misma manera trabajamos en la tabla 4, con promedios globales por el número de replicas obtenidas, donde observamos que los metales que se concentran a mayor cantidad en la raíz vienen siendo el Al con un elevado valor, seguidamente está el Mg, Mn y el Zn.

Tabla 5. Resultados de la concentración de metales en tallo de la parcela control.

Metal (mg/kg)	Parcela control			
	Tallo 1	Tallo 2	Tallo 3	Prom.
Aluminio (Al)	2082,42	2038,06	1381,43	1833,97
Arsénico (As)	4,97	4,88	4,72	4,86
Bario (Ba)	10,55	11,11	13,16	11,61
Cadmio (Cd)	4,85	5,11	4,48	4,81
Cromo (Cr)	4,92	4,88	4,3	4,70
Cobre (Cu)	64,25	60,26	47,3	57,27
Magnesio (Mg)	3665,79	3472,69	2962,41	3366,96
Manganeso (Mn)	754,67	556,09	476,67	595,81
Níquel (Ni)	7,17	7,12	3,79	6,03
Plomo (Pb)	110,42	38,29	25,06	57,92
Estroncio (Sr)	22,16	22,87	39,96	28,33
Zinc (Zn)	470,95	341,8	260,26	357,67

En la tabla se observa que para las parcelas control los mismos metales son los que se encuentran en altas concentraciones Al, Mg, Mn y Zn

Tabla 6. Resultados de la concentración de metales en la raíz de la parcela control

Metal (mg/kg)	Parcela control			
	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Prom.
Aluminio (Al)	3653,35	776,34	717,94	1715,88
Arsénico (As)	6,01	3,49	6,06	5,19
Bario (Ba)	23,9	15,28	15,71	18,30
Cadmio (Cd)	5,27	2,98	5,96	4,74
Cromo (Cr)	9,33	2,42	2,7	4,82
Cobre (Cu)	93,29	32,57	45,71	57,19
Magnesio (Mg)	4782,2	1506,7	1677,5	2655,47
Manganeso (Mn)	885,26	213,79	377,05	492,03
Níquel (Ni)	6,99	3,43	4,79	5,07
Plomo (Pb)	81,66	25,79	23,45	43,63
Estroncio (Sr)	40,92	39,47	27,29	35,89
Zinc (Zn)	642,58	281,56	290,16	404,77

En la parcela control tenemos al Mg y Al, que son los que llevan el valor mayor de concentración; asimismo el Cd, Cr; As y Ni.

Tabla 7. Cálculos estadísticos para suelos contaminados iniciales y finales

Metal (mg/kg)	Concentración de metales en suelo inicial		concentración de metales con plantas en suelo final	
	Desv. Estándar	Varianza	Desv. Estándar	Varianza
Aluminio (Al)	412,75	170366,33	7494,38	56165748,4
Arsénico (As)	15,75	247,91	40,52	1641,61
Bario (Ba)	2,79	7,79	8,93	79,7
Cadmio (Cd)	16,97	288,12	27,76	770,84
Cromo (Cr)	0,90	0,81	22,67	513,84
Cobre (Cu)	241,16	58155,88	1314,3	1727376,18
Magnesio (Mg)	220,43	48590,52	4552,46	20724901,28
Manganeso (Mn)	233,38	54465,04	682,56	465885,93
Níquel (Ni)	60,50	3660,08	1040,65	1082952,37
Plomo (Pb)	136,07	18511,83	513,71	263900,93
Estroncio (Sr)	1,73	3	22,54	508,13
Zinc (Zn)	123,71	15303,06	1848,7	3417690,69

Tabla 7. Cálculos estadísticos para tejido vegetal en suelos contaminados finales.

Metal (mg/kg)	Concentración de metales en tallo		Concentración de metales en raíz	
	Desv. Estándar	Varianza	Desv. Estándar	Varianza
Aluminio (Al)	1559,2	2431106,49	5848,06	34199802,47
Arsénico (As)	2,29	5,26	3,11	9,65
Bario (Ba)	4,02	16,12	16,59	275,07
Cadmio (Cd)	2,7	7,27	4,43	19,58
Cromo (Cr)	2,94	8,62	12,73	162,04
Cobre (Cu)	159,51	25442,97	438,34	192144,89
Magnesio (Mg)	1829,52	3347136,91	4582,01	20994833,57
Manganeso (Mn)	98,94	9789,64	467,68	218723,57
Níquel (Ni)	12,36	152,65	39,95	1595,71
Plomo (Pb)	26,87	721,75	133,28	17762,81
Estroncio (Sr)	19,28	371,65	49,91	2490,98
Zinc (Zn)	258,83	66994,45	857,85	735903,95

3.3. Pruebas Estadísticas Descriptivas

Tabla 8. Prueba de normalidad Shapiro Wilk para los suelos contaminados antes del crecimiento, para determinar la significancia estadística de las medias con un $p < 0.05$

Muestra de metal en el suelo	Estadístico	Gl	Sig.
Suelo1R1	,705	12	,001
Suelo1R2	,740	12	,002
Suelo2R2	,429	12	,000
Suelo2R2	,443	12	,000
Suelo3R1	,697	12	,001
Suelo3R2	,747	12	,002

No hay diferencias significativas entre los resultados de los 12 metales analizados en las tres parcelas analizadas y las 6 réplicas de las (dos resultados analizados en cada una de las parcelas), que es lo que se esperaba al ser las muestras de suelo de las tres parcelas de la misma procedencia.

Tabla 9. Prueba de normalidad Shapiro Wilk, para determinar la significancia estadística de las medias con un $p < 0.005$ en los suelos contaminados con las plantas.

Resultado de metales en el suelo con las plantas	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Suelo1R1T	,759	12	,003
Suelo1R2T	,763	12	,004
Suelo2R1T	,814	12	,014
Suelo2R2T	,794	12	,008
Suelo3R1T	,804	12	,010
Suelo3R2T	,829	12	,020

No hay diferencias significativas entre los resultados de los 12 metales analizados en las tres parcelas y el suelo control analizados y las 6 réplicas de las plantas (dos resultados analizados en cada una de las parcelas), en este caso se evidencia una similitud en los resultados de los metales en suelo con donde fueron creciendo las plantas.

Tabla 10. Prueba de normalidad para los resultados de la concentración de los 12 metales en las raíces de las plantas analizadas y las raíces de las plantas del suelo control.

Muestra de metal en raíz de las plantas analizadas	Shapiro -Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
PR1RA1	,547	12	,000
PR1RA2	,570	12	,000
PR1RA3	,545	12	,000
PR2RA1	,602	12	,000
PR2RA2	,567	12	,000
PR2RA3	,498	12	,000
PR3RA1	,621	12	,000
PR3RA2	,618	12	,000
PR3RA3	,602	12	,000
CO1RA1	,598	12	,000
CO1RA2	,608	12	,000
CO1RA3	,613	12	,000

Como se observa en la tabla 11. todos los valores de p-value fueron menores a 0,05 indicándonos que no hay una diferencia significativa entre los 12 parámetros analizados en las raíces de las plantas incluso con las del suelo control.

Tabla 11. *Prueba de normalidad para los resultados de la concentración de los 12 metales en los tallos de las plantas analizadas y las plantas del suelo control.*

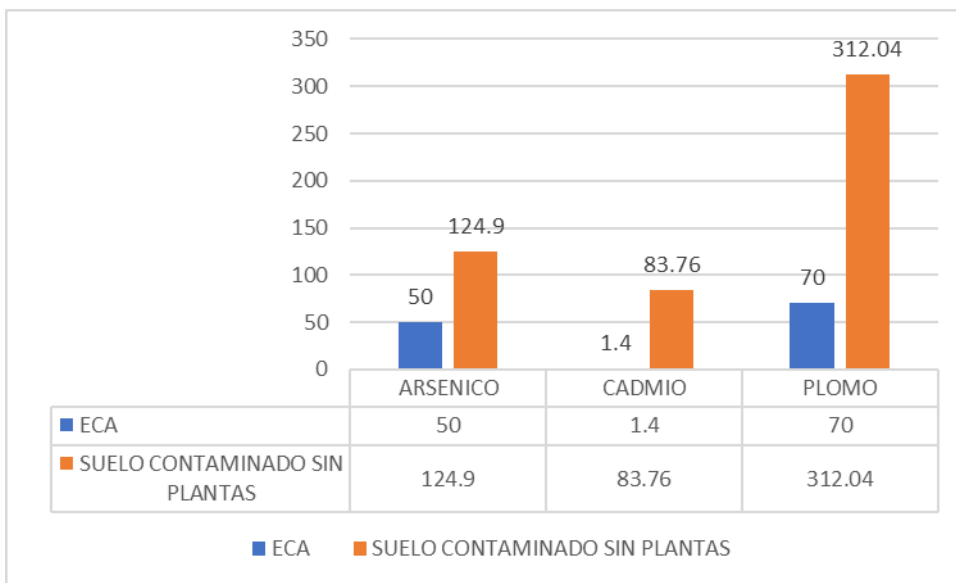
Muestra de metal en los tallos de las plantas	Estadístico	G1	Sig.
PR1TA1	,577	12	,000
PR1TA2	,568	12	,000
PR1TA3	,579	12	,000
PR2TA1	,664	12	,000
PR2TA2	,658	12	,000
PR2TA3	,686	12	,001
PR3TA1	,715	12	,001
PR3TA2	,710	12	,001
PR3TA3	,693	12	,001
CO1TA1	,612	12	,000
CO1TA2	,584	12	,000
CO1TA3	,572	12	,000

Como se observa en la tabla 12 se tiene un p-value menor a 0,05 lo que significa que no hay una diferencia significativa entre las medias inclusive entre las concentraciones de las plantas en el tallo y hojas de la estación control con código CO1TA1, CO1TA2, CO1TA3

3.4. Comparación de la concentración de metales pesados con los ECA para suelo agrícola.

-Suelo contaminado inicial sin plantas

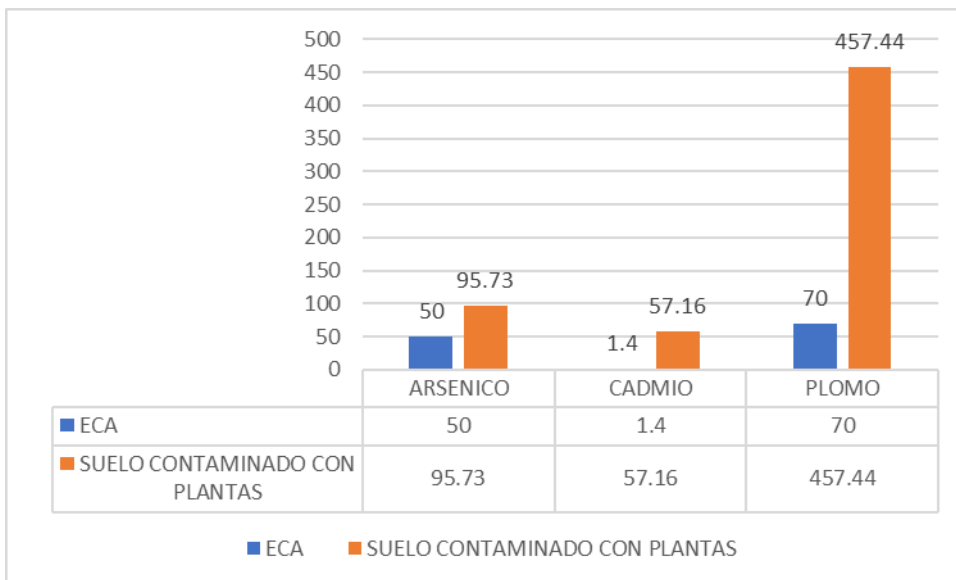
Figura 1. Comparación de la concentración de metales pesados de suelos iniciales contaminados sin plantas.



En figura se observa que las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental.

-Suelo contaminado final con plantas

Figura 2. Comparación de la concentración de metales pesados de suelos finales contaminados con plantas.



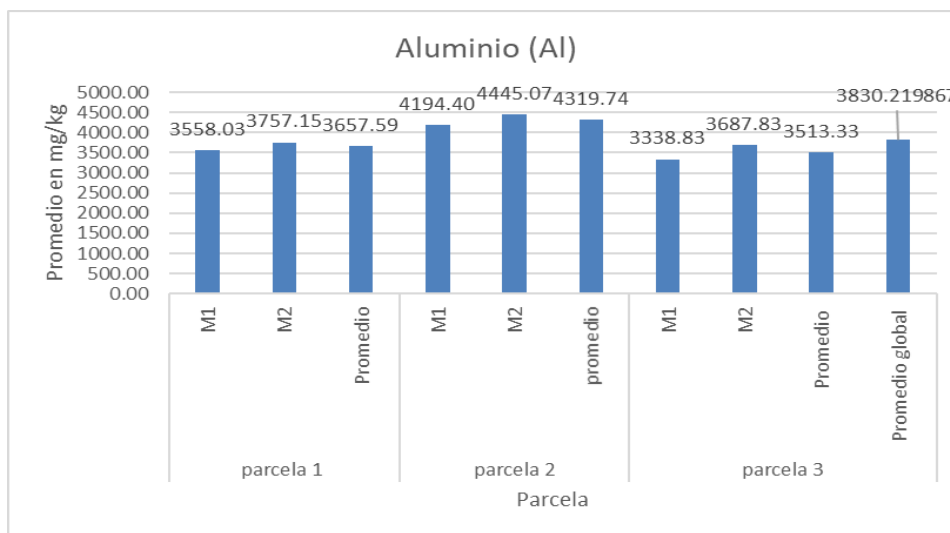
En la figura se observa que las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo sobrepasan los ECA, sin embargo, las concentraciones bajan a diferencia del suelo inicial que tenemos

concentraciones más elevadas. A excepción del plomo que arroja una concentración de 457,44 kg/mg.

3.5. Concentración de metales pesados en suelo inicial de las parcelas 1,2 y 3

3.5.1. Concentración de Aluminio (Al)

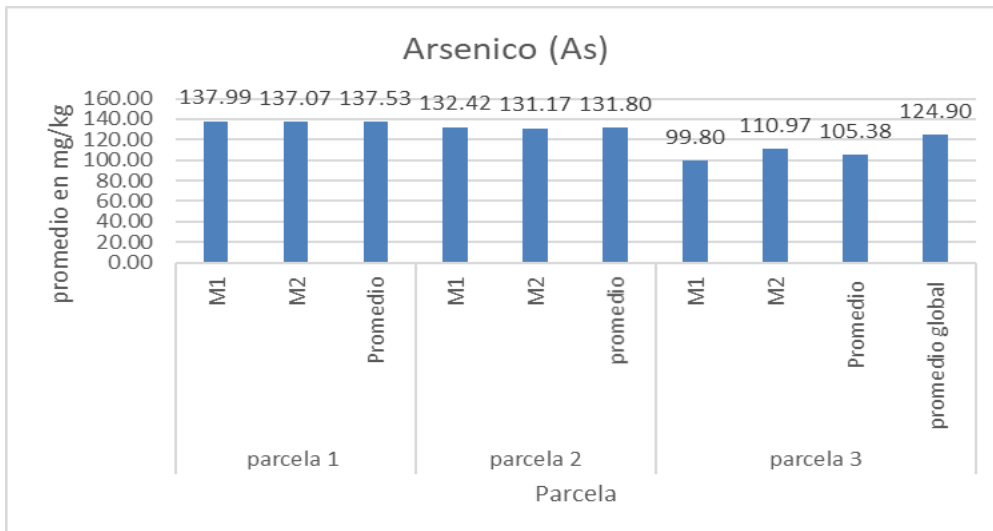
Figura 3. Concentración de Al (mg/kg) en las parcelas 1,2 y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Aluminio corresponde a la parcela número 2, la cual tiene una concentración promedio de 4319,74 mg/kg en suelos iniciales.

3.5.2. Concentración de Arsénico (As)

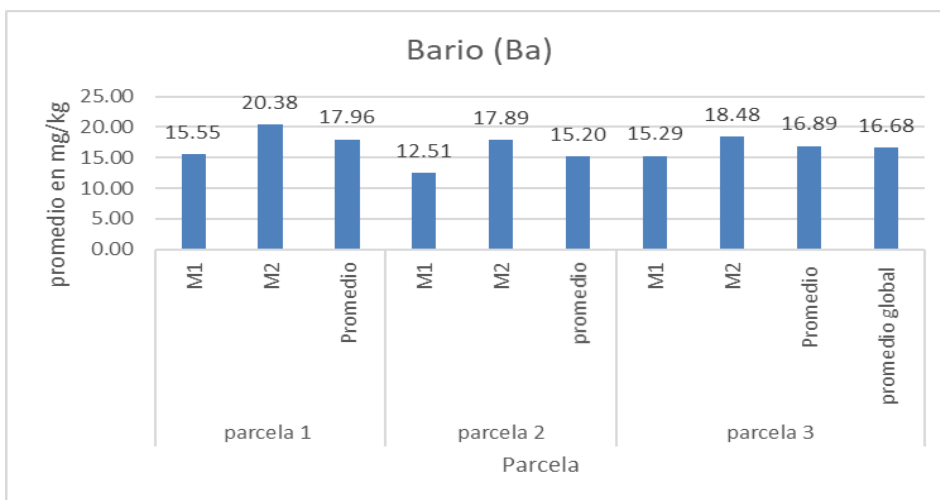
Figura 4. Concentración de Arsénico (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Arsénico corresponde a la parcela número 1, con un valor promedio de 137,53 mg/kg de arsénico en suelos iniciales; asimismo se determinó que la concentración total de arsénico en las 3 parcelas es de 124,90 mg/kg

3.5.3. Concentración de Bario (Ba)

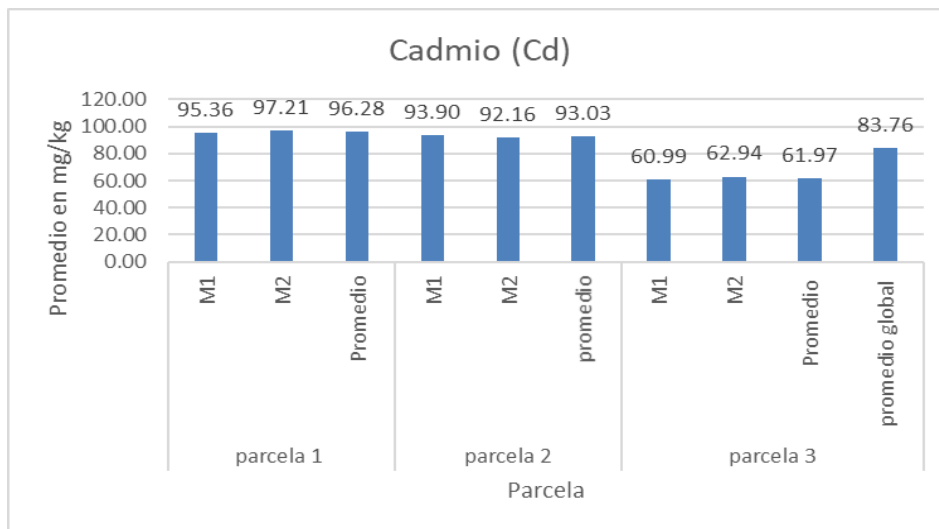
Figura 5. Concentración de Bario (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se demostró que la mayor concentración de Bario se concentra en la parcela número 1 con un valor promedio de 17,96 mg/kg, asimismo se sacó un promedio global de las parcelas obteniendo un valor de 16,68 mg/kg de concentración total de Bario.

3.5.4. Concentración de Cadmio (Cd)

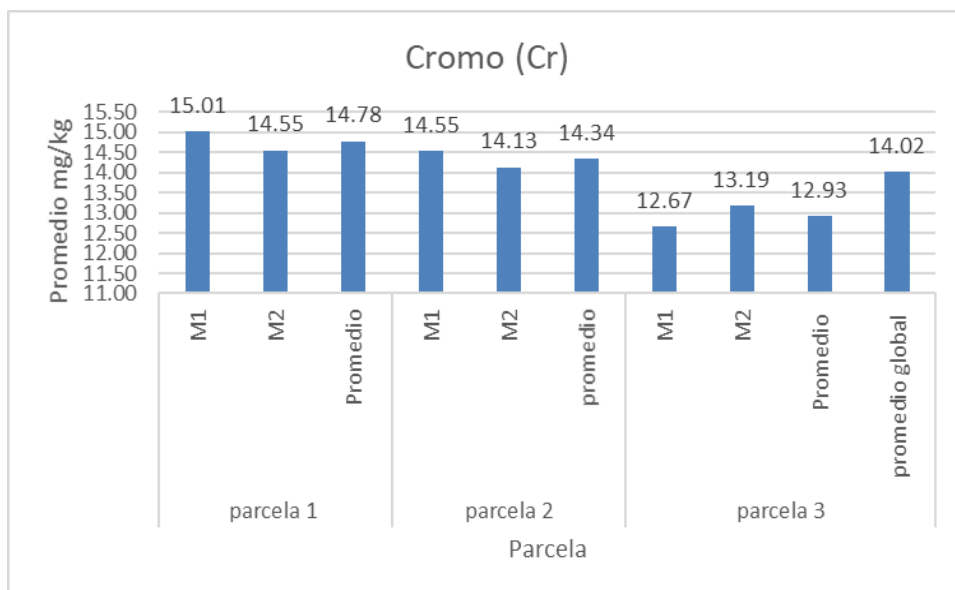
Figura 6. Concentración de Cadmio (mg/kg) en parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se demostró que la mayor concentración de Cadmio corresponde a la primera parcela con un valor promedio de 96,28 mg/kg de concentración de dicho metal.

3.5.5. Concentración de Cromo (Cr)

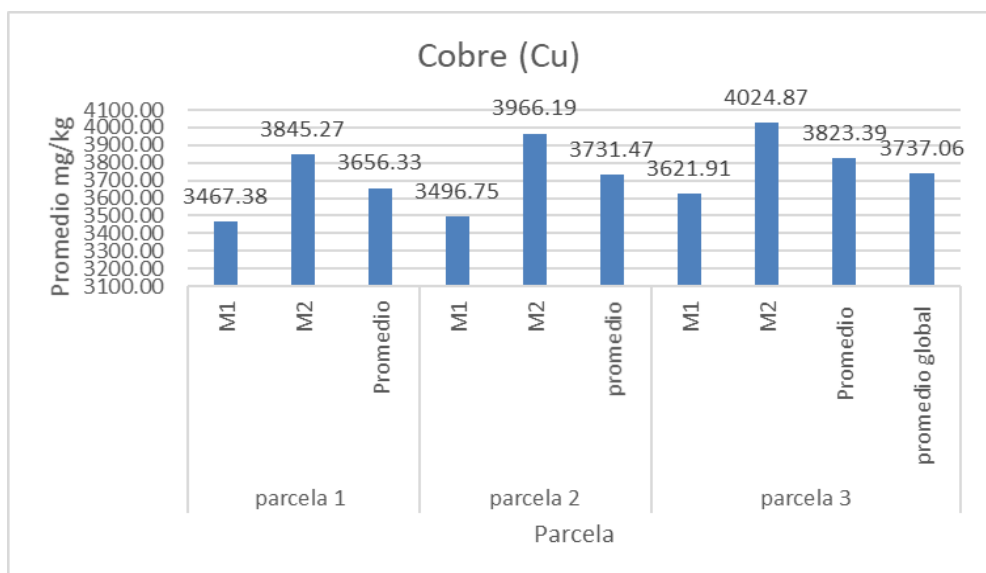
Figura 7. Concentración de Cromo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Cromo (mg/kg) corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 14,78 mg/kg de concentración de cromo existente en el suelo.

3.5.6. Concentración de Cobre (Cu)

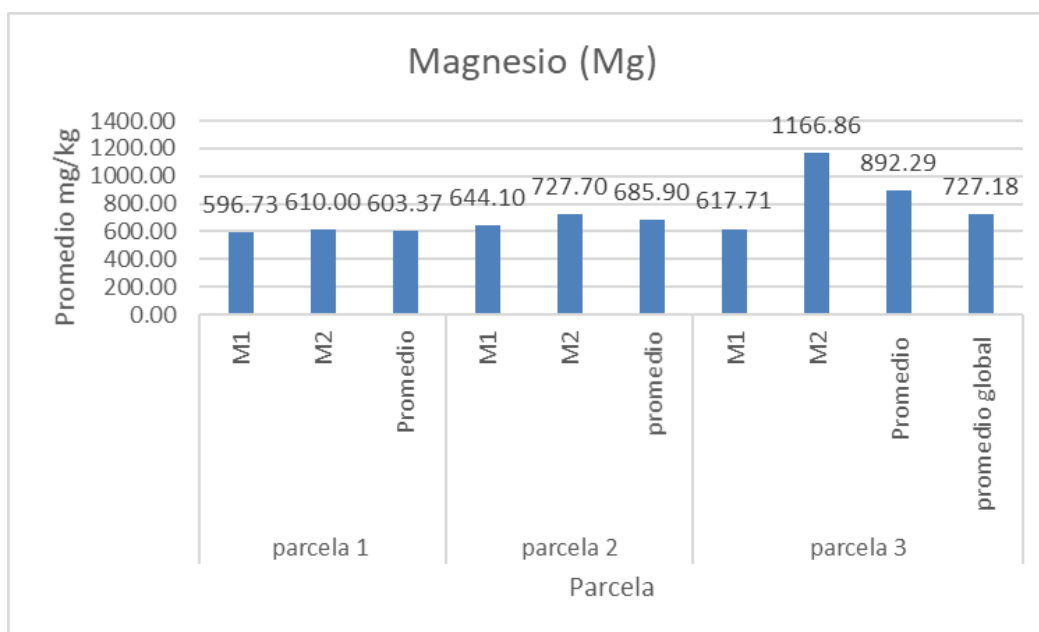
Figura 8. *Concentración de Cobre (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.*



En la figura se determinó que la mayor concentración de Cobre existente en el suelo, corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 3823,39 mg/kg. Asimismo, se determinó un promedio de concentración global de Cobre de 3737,06 mg/kg.

3.5.7. Concentración de Magnesio (Mg)

Figura 9. Concentración de Magnesio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.

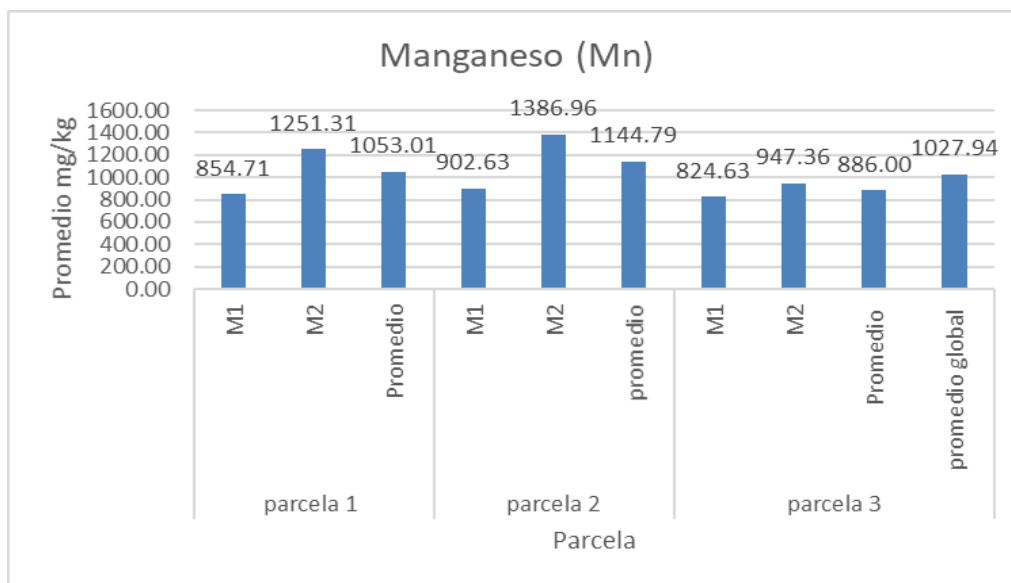


En la figura se determinó que la mayor concentración de Magnesio corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 892,29 mg/kg. Asimismo, se determinó un promedio global de concentración global de Magnesio de 727,18 mg/kg.

3.5.8. Concentración de Manganeso (Mn)

Figura 10. Concentración de Manganeso (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.

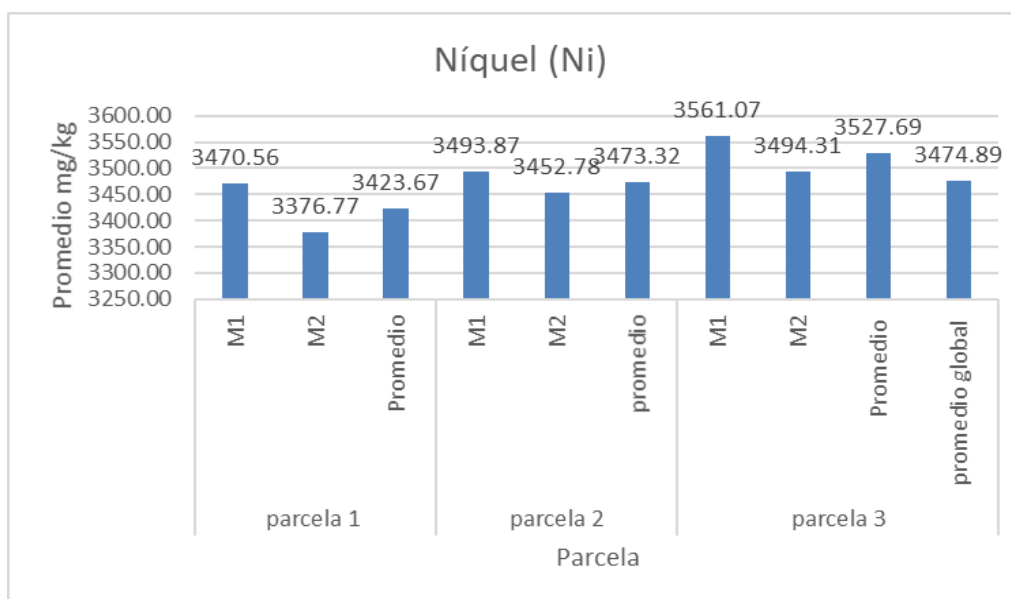
Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú



En el gráfico se determinó que la mayor concentración de Manganeso en el suelo corresponde a la parcela número 2 con un valor promedio de 1144,79 mg/kg. Asimismo, se determinó una concentración global de Manganeso de 1027,94 mg/kg.

3.5.9. Concentración de Níquel (Ni)

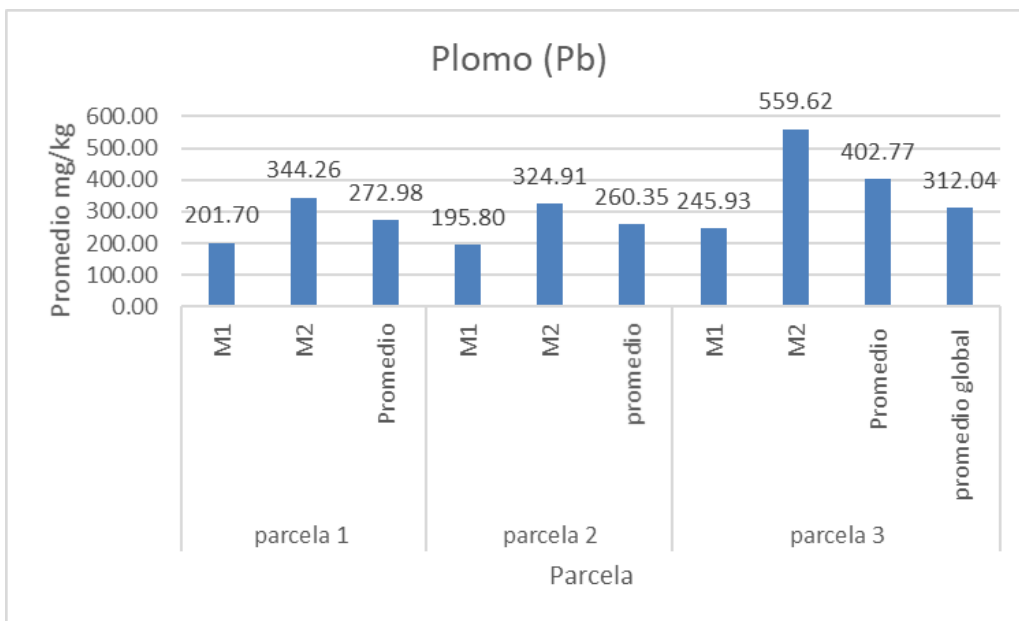
Figura 11. *Concentración de Níquel (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.*



En la figura se demostró que la mayor concentración de Níquel corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 3474,89 mg/kg en suelos iniciales. Asimismo, se determinó una concentración global de Níquel de 3474,89 mg/kg.

3.5.10. Concentración de Plomo (Pb)

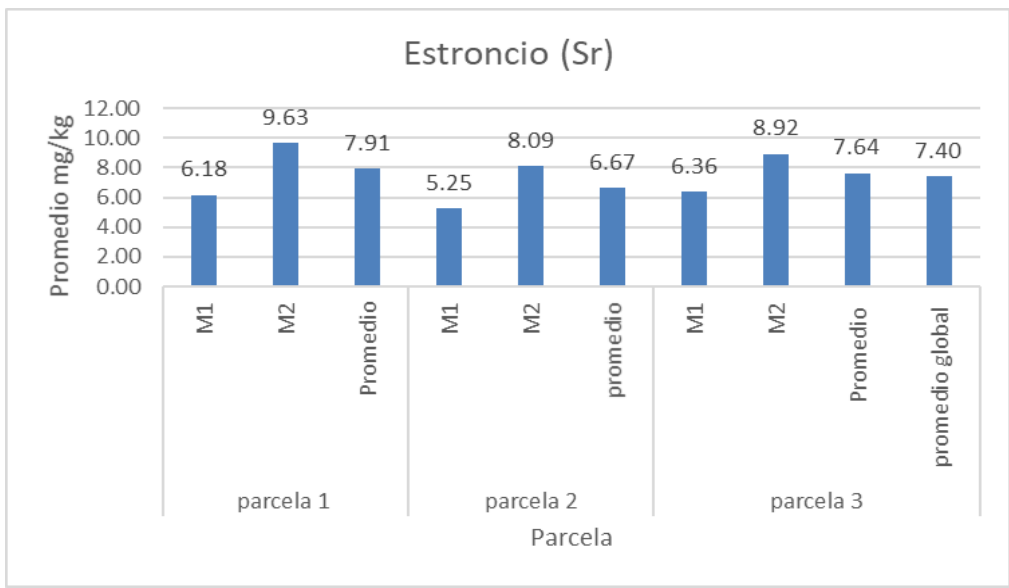
Figura 12. Concentración de Plomo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se demostró que la mayor concentración de Plomo corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 402,77 mg/kg en suelos contaminados iniciales. Asimismo, se determinó una concentración global de Plomo de 312,04 mg/kg.

3.5.11. Concentración de Estroncio (Sr)

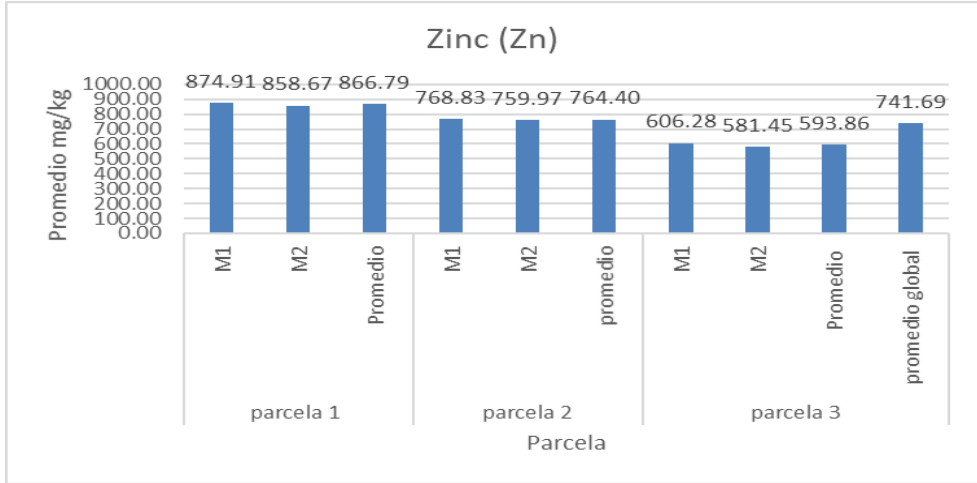
Figura 13. Concentración de Estroncio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado inicial.



En la figura se demostró que la mayor concentración de Estroncio corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 7,91 mg/kg en suelos contaminados iniciales. Asimismo, se determinó una concentración global de Estroncio de 7,40 mg/kg.

3.5.12. Concentración de Zinc (Zn)

Figura 14. Concentración de Zinc (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo inicial contaminado.

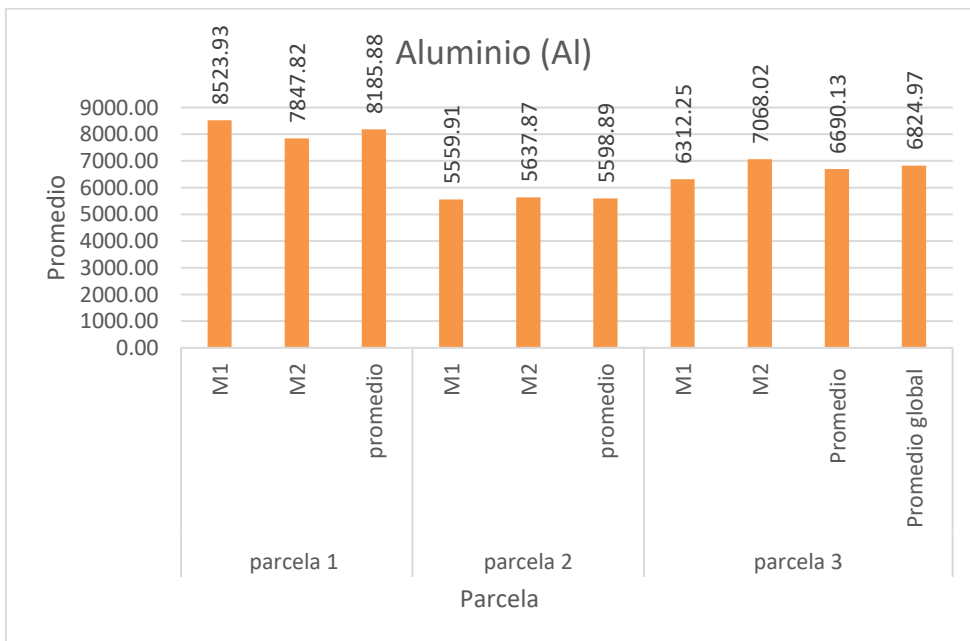


En la figura se determinó que la mayor concentración de Zinc (mg/kg) corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 866,79 (mg/kg) en suelos iniciales. Asimismo, se determinó una concentración global de Zinc de 741,69 (mg/kg).

3.6. Concentración de metales con plantas en suelos finales.

3.6.1. Concentración de Aluminio (Al)

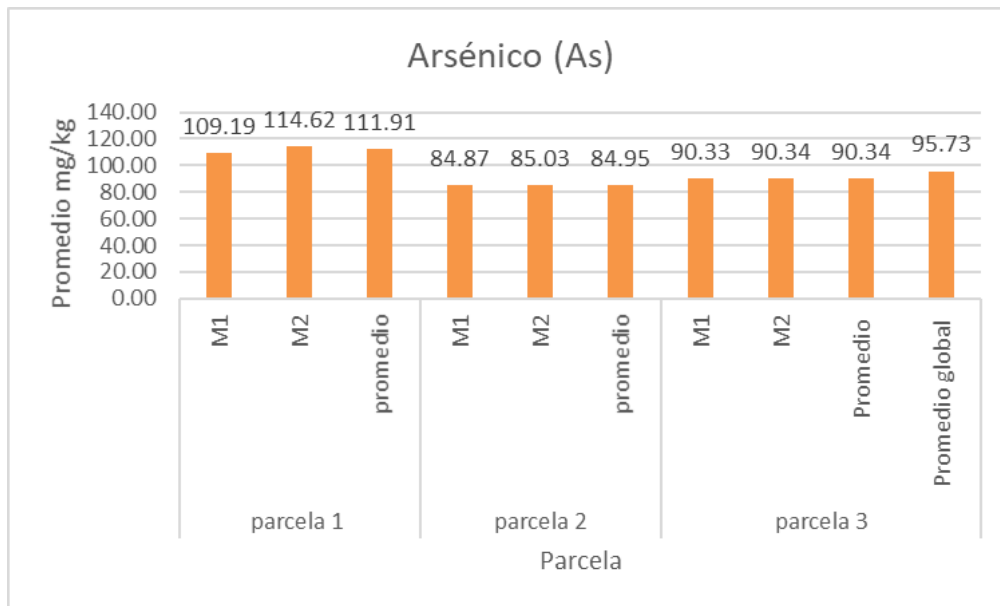
Figura 15. Concentración de Aluminio(mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Aluminio en el suelo contaminado final con plantas de la especie *Rumex acetosella* corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de concentración de 8185,88 mg/kg de Aluminio.

3.6.2. Concentración de Arsénico (As)

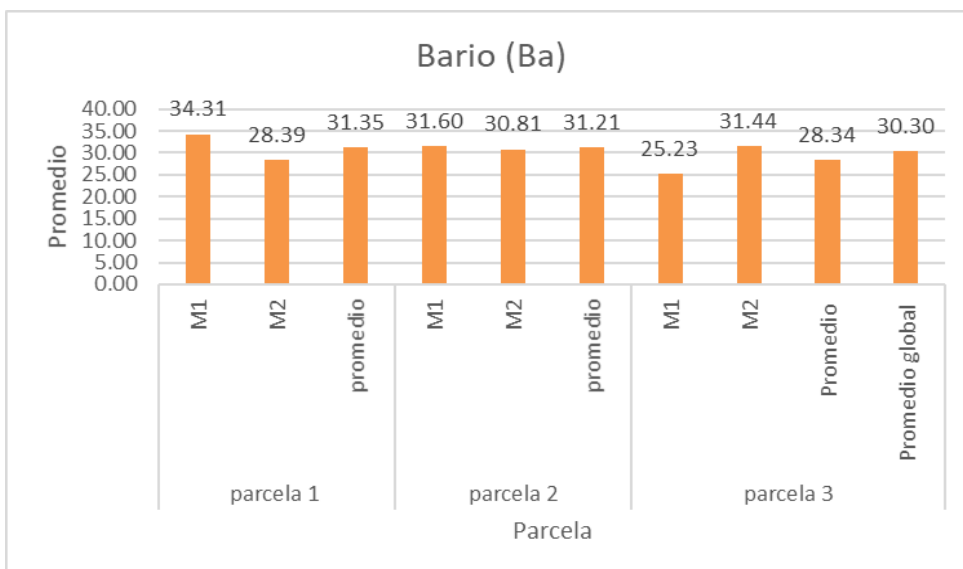
Figura 16. Concentración de Arsénico (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En el gráfico se determinó que la mayor concentración de Arsénico en suelos finales con plantas de la especie de *Rumex acetosella* corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 111,91 mg/kg de Arsénico.

3.6.3. Concentración de Bario (Ba)

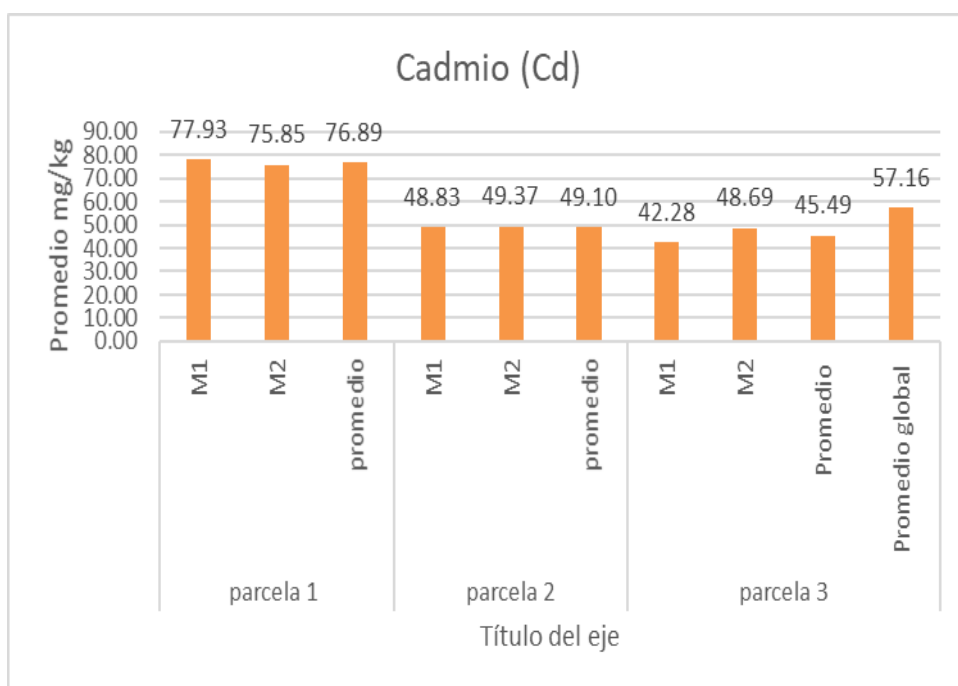
Figura 17. Concentración de Bario (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Bario en suelos finales con plantas de la especie *Rumex acetosella* corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 31,35 mg/kg de concentración de Bario.

3.6.4. Concentración de Cadmio (Cd)

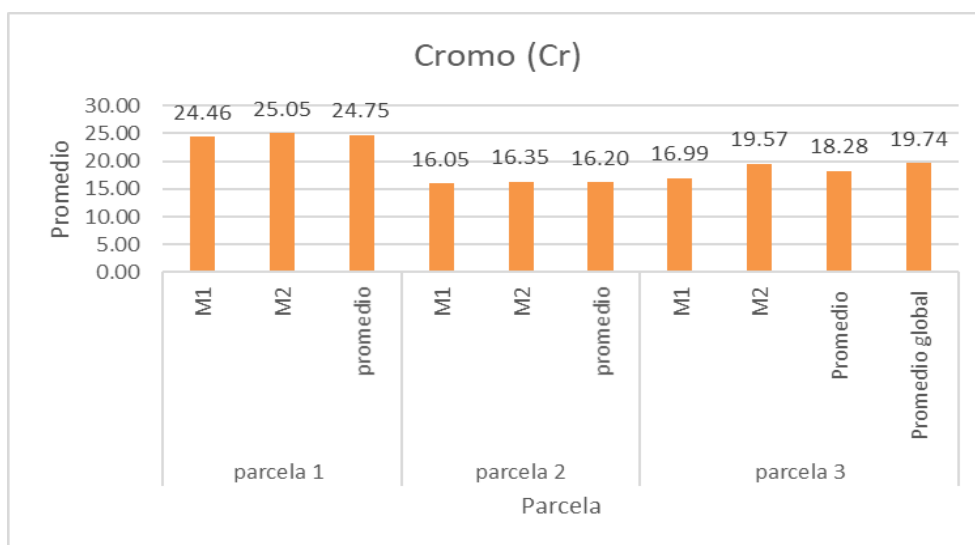
Figura 18. Concentración de Cadmio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Cadmio en suelos finales con plantas de la especie *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 76,89 mg/kg de concentración de Cadmio.

3.6.5. Concentración de Cromo (Cr).

Figura 19. Concentración de Cromo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.

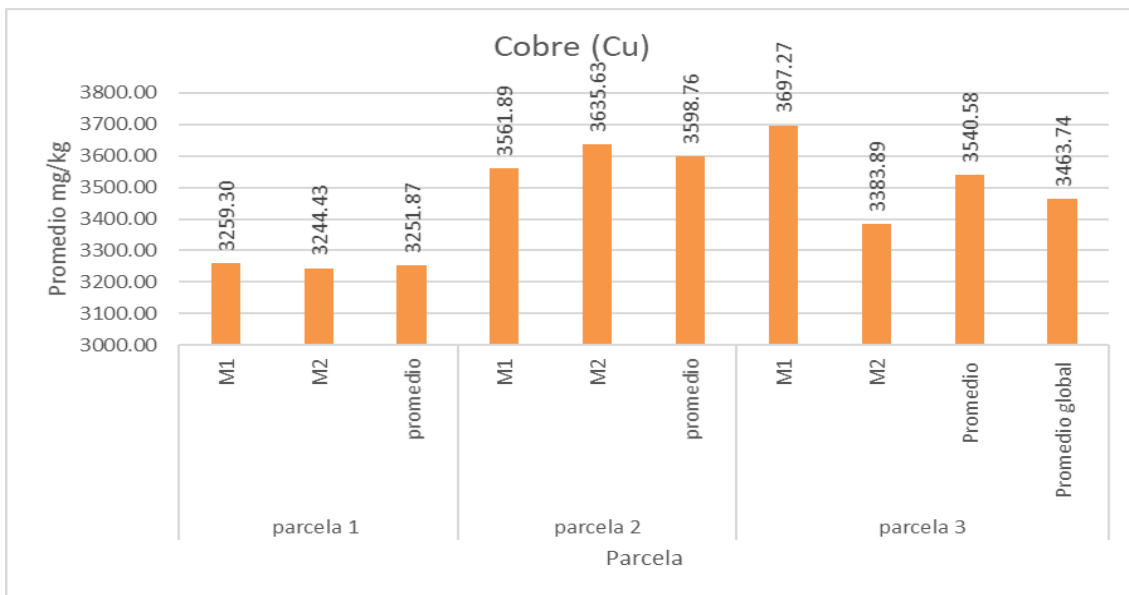


En la figura se determinó que la mayor concentración de Cromo en suelos finales con plantas de la especie *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 24,71 mg/kg de concentración de Cadmio.

3.6.6. Concentración de Cobre (Cu)

Figura 20. Concentración de Cobre (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.

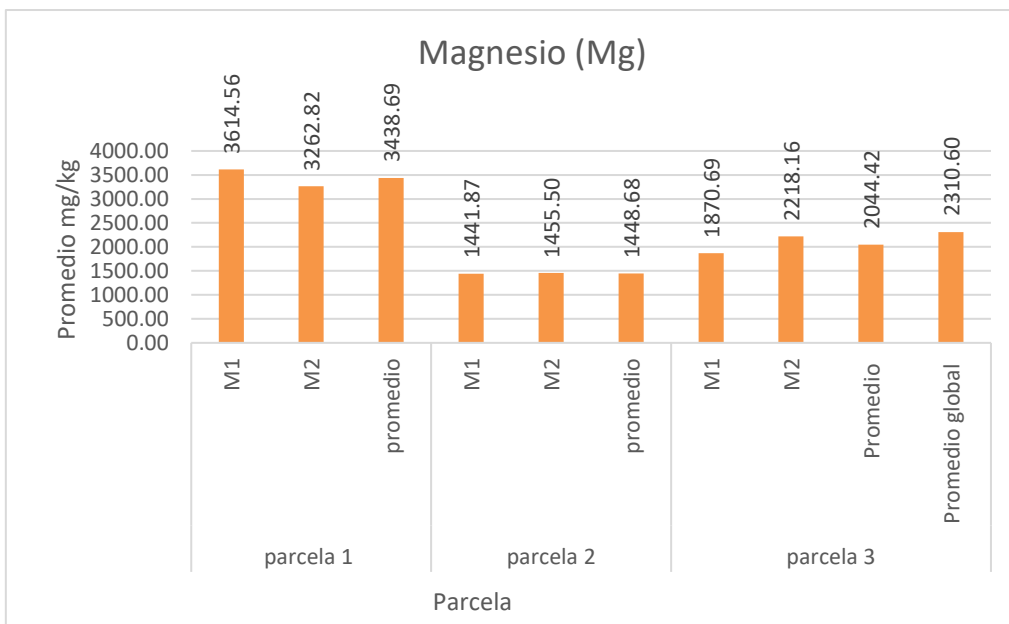
Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú



En la figura se determinó que la mayor concentración de Cobre en suelos finales con plantas de la especie de *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 2 con un valor promedio de 3598,76 mg/kg de concentración de Cobre.

3.6.7. Concentración de Magnesio (Mg)

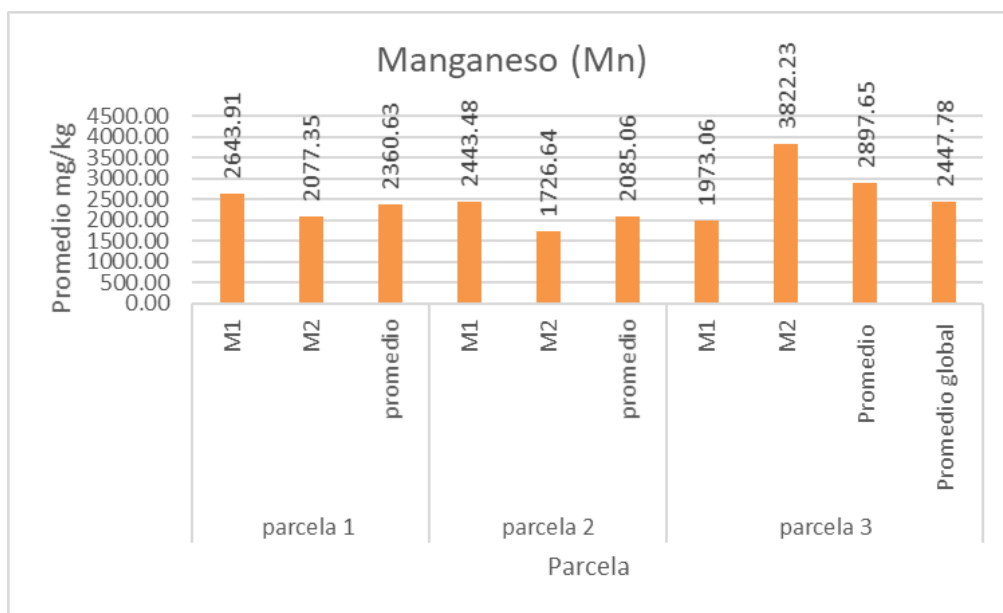
Figura 21. Concentración de Magnesio (mg/kg) en las parcelas 1, 2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Magnesio en suelos finales con plantas de la especie *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 3438,69 mg/kg de concentración de Magnesio.

3.6.8. Concentración de Manganeso (Mn)

Figura 22. Concentración de Manganeso (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.

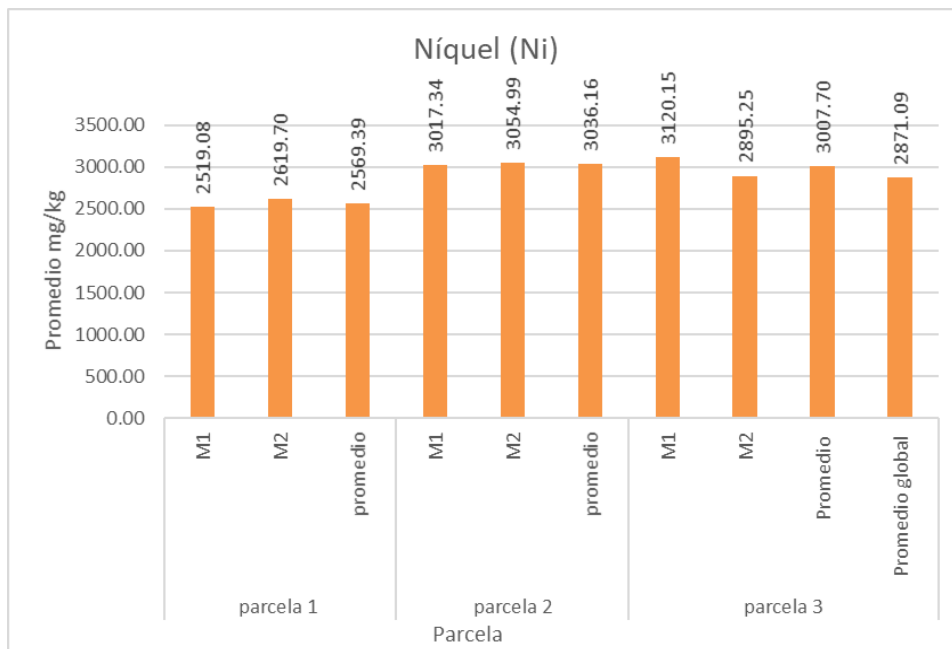


En la figura se determinó que la mayor concentración de Manganeso en suelos finales con plantas de la especie de *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 2447,78 mg/kg de Manganeso.

3.6.9. Concentración de Níquel (Ni)

Figura 23. Concentración de Níquel (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.

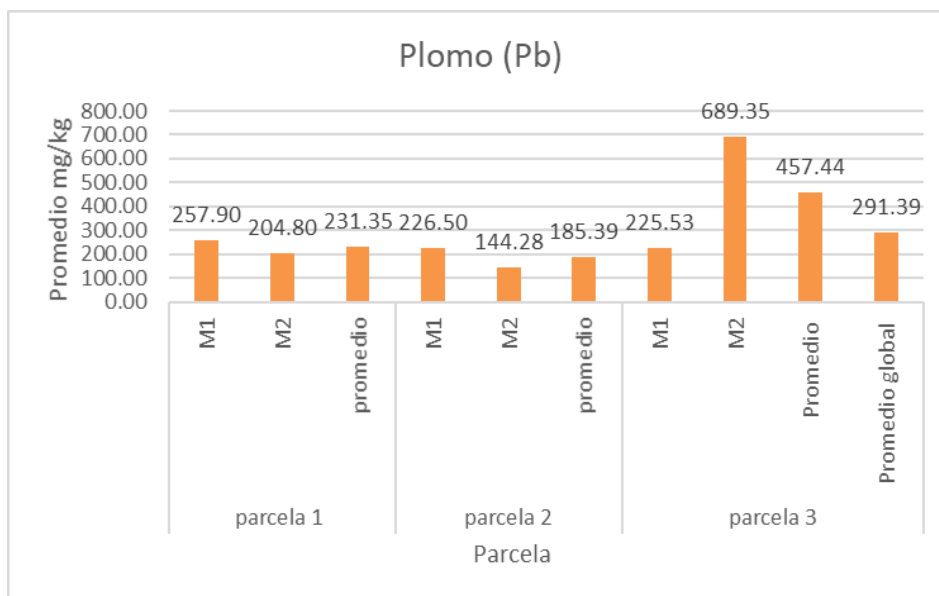
Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú



En la figura se determinó que la mayor concentración de Níquel en suelos finales con plantas de la especie *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 2 con un valor promedio de 3036,16 mg/kg de Níquel.

3.6.10. Concentración de Plomo (Pb)

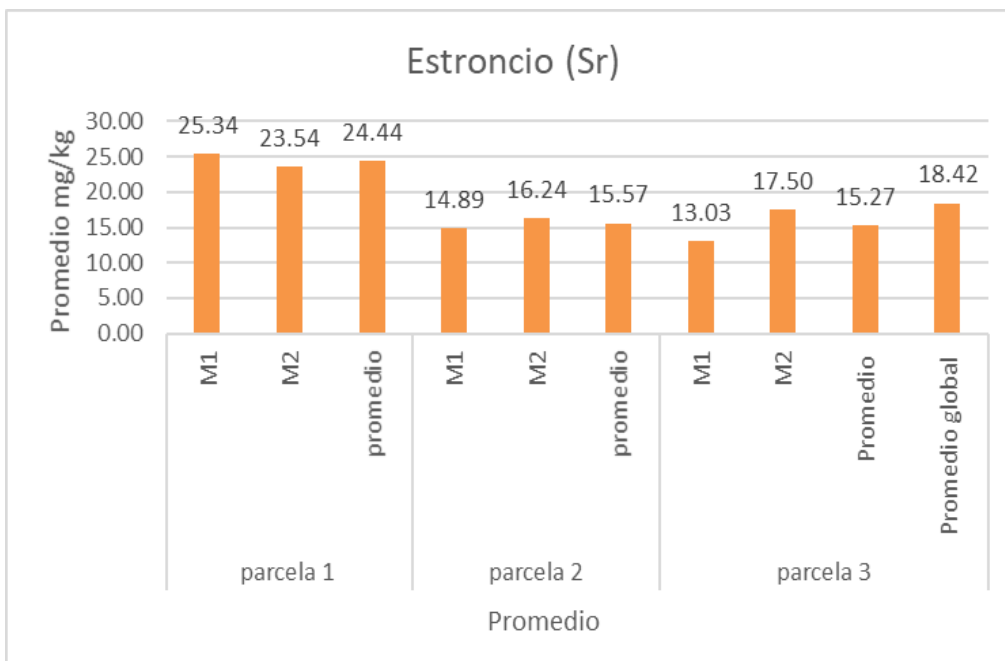
Figura 24. Concentración de Plomo (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Plomo en suelos con plantas de la especie de *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 3 con un valor promedio de 457,44 mg/kg de Plomo.

3.6.11. Concentración de Estroncio (Sr)

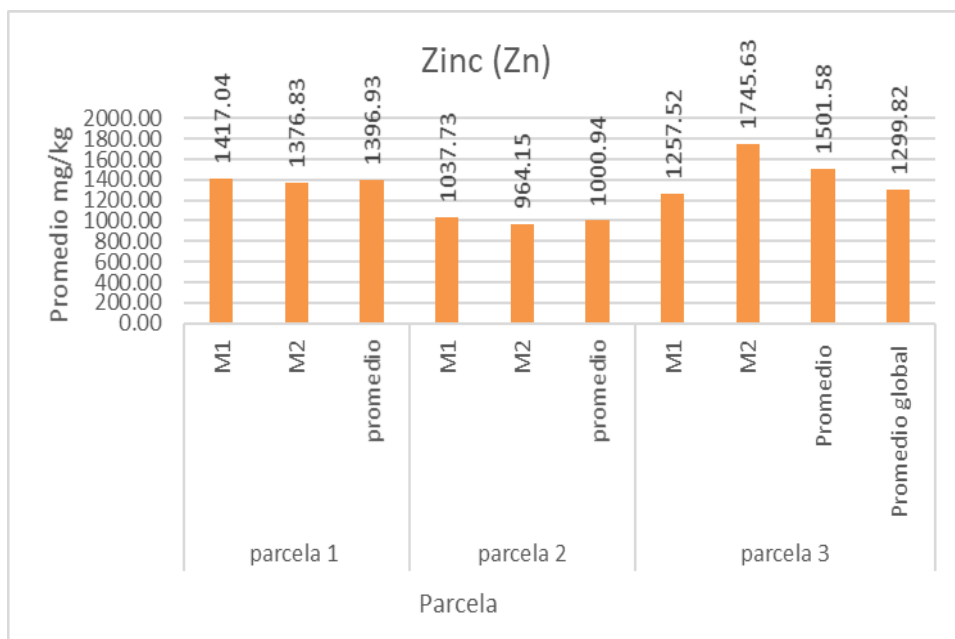
Figura 25. Concentración de Estroncio (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor concentración de Estroncio en suelos con plantas de la especie de *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 24,44 mg/kg de Estroncio.

3.6.12. Concentración de Zinc (Zn)

Figura 26. Concentración de Zinc (mg/kg) en las parcelas 1,2, y 3 en suelo contaminado final con plantas.

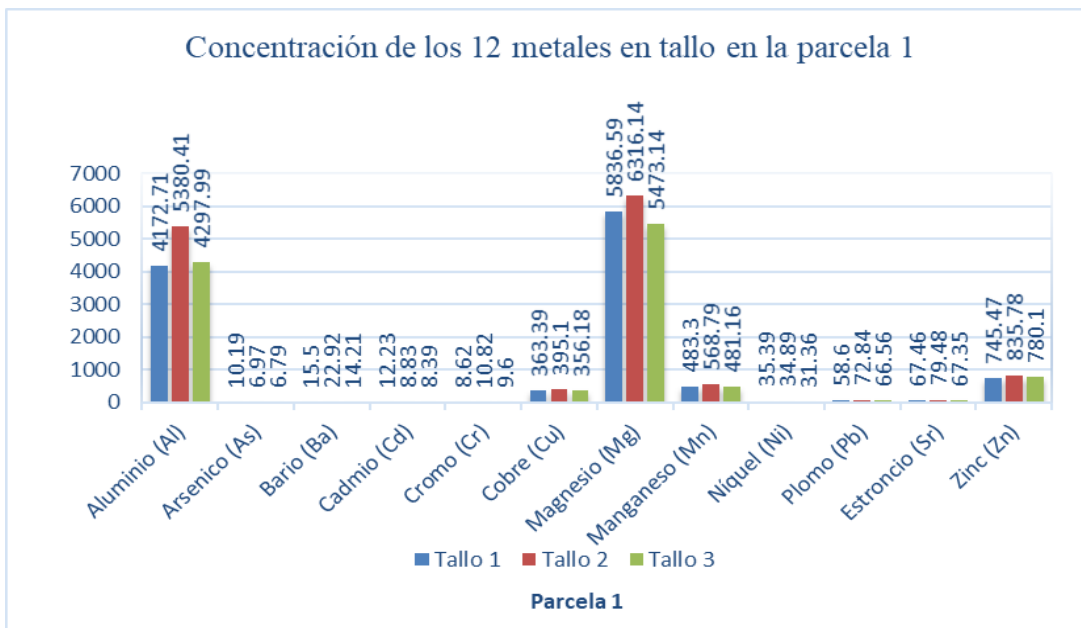


En la figura se determinó que la mayor concentración de Zinc en suelos con plantas de la especie de *Rumex acetosella*, corresponde a la parcela número 1 con un valor promedio de 1396,93 mg/kg de Zinc.

3.7. Concentración de metales en el tallo de la planta

3.7.1. Concentración de metales en el tallo de la parcela 1.

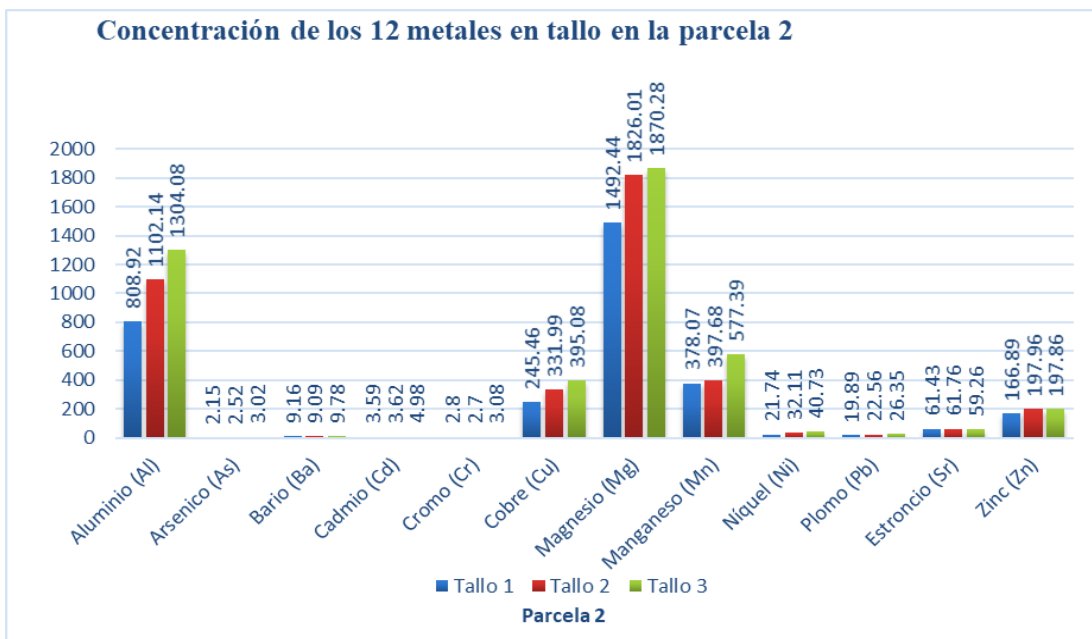
Figura 27. Concentración de los 12 metales en el tallo de la parcela 1 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales en el tallo de la planta es el Magnesio con un valor de 6316,14 mg/kg y el Aluminio con un valor de 5380,41 mg/kg. Asimismo, se observa que el metal con menos acumulación en el tallo es el Arsénico con un valor de 6,79 mg/kg.

3.7.2. Concentración de metales en el tallo de la parcela 2.

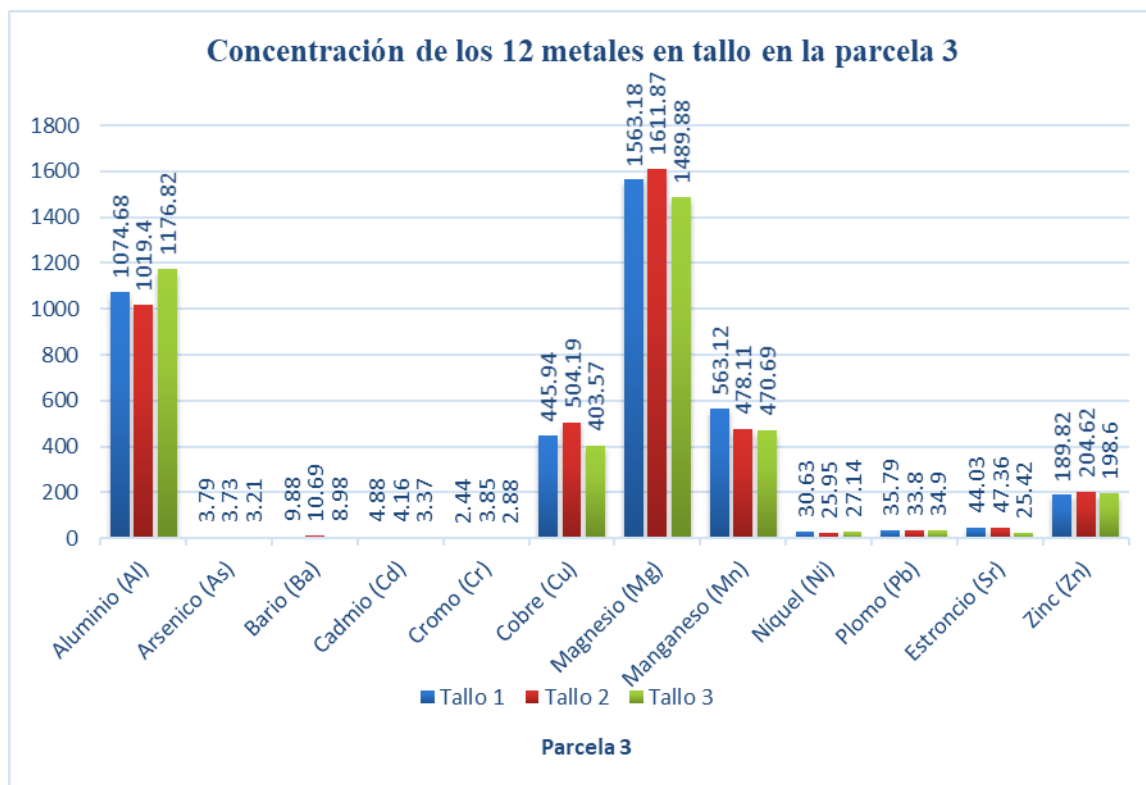
Figura 28. Concentración de los 12 metales en tallo de la parcela 2 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales en el tallo de la planta es el Magnesio con un valor de 1870,28 mg/kg y el Aluminio con un valor de 1304,08 mg/kg. Asimismo, se observa que el metal con menos acumulación en el tallo es el Arsénico con un valor de 2,15 mg/kg.

3.7.3. Concentración de metales en el tallo de la parcela 3

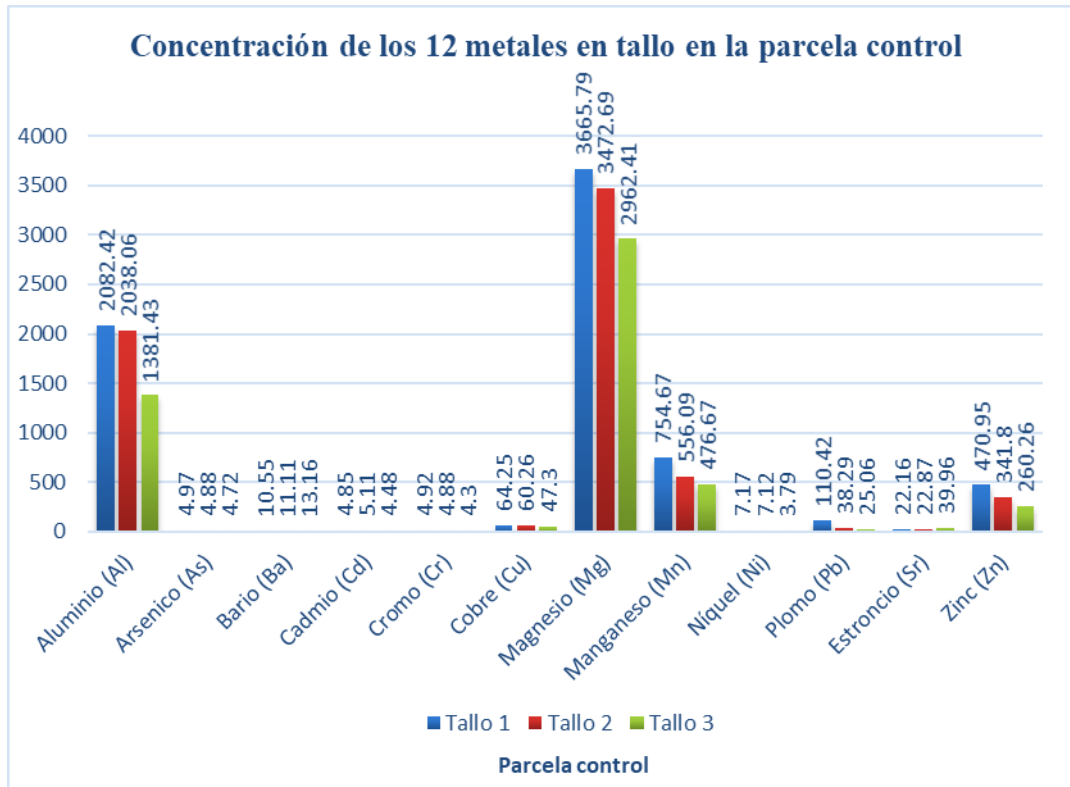
Figura 29. Concentración de los 12 metales en el tallo de la parcela 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales en el tallo de la planta es el Magnesio con un valor de 1611,87 mg/kg y el Aluminio con un valor de 1176,82 mg/kg. Asimismo, se observa que el metal de menos acumulación de metales en el tallo es el Cromo con un valor de 2,44 mg/kg.

3.7.4. Concentración de metales en el tallo de la parcela control

Figura 30. Concentración de los 12 metales en tallo de la parcela control en suelo contaminado final con plantas.

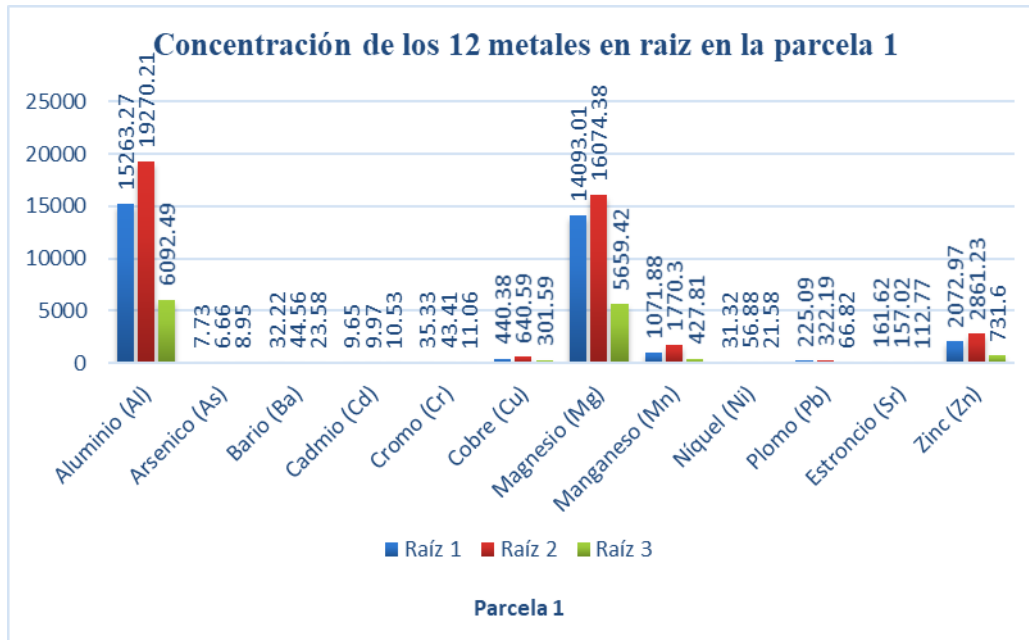


En el gráfico se determinó que la mayor acumulación de metales en el tallo de la planta es el Magnesio con un valor de 3665,79 mg/kg y el Aluminio con un valor de 2082,42 mg/kg. Asimismo, se observó que el metal con menos acumulación en el tallo es el Níquel con un valor de 3,79 mg/kg.

3.8. Concentración de metales en la raíz de la planta.

3.8.1. Concentración de metales en la raíz de las plantas de la parcela 1.

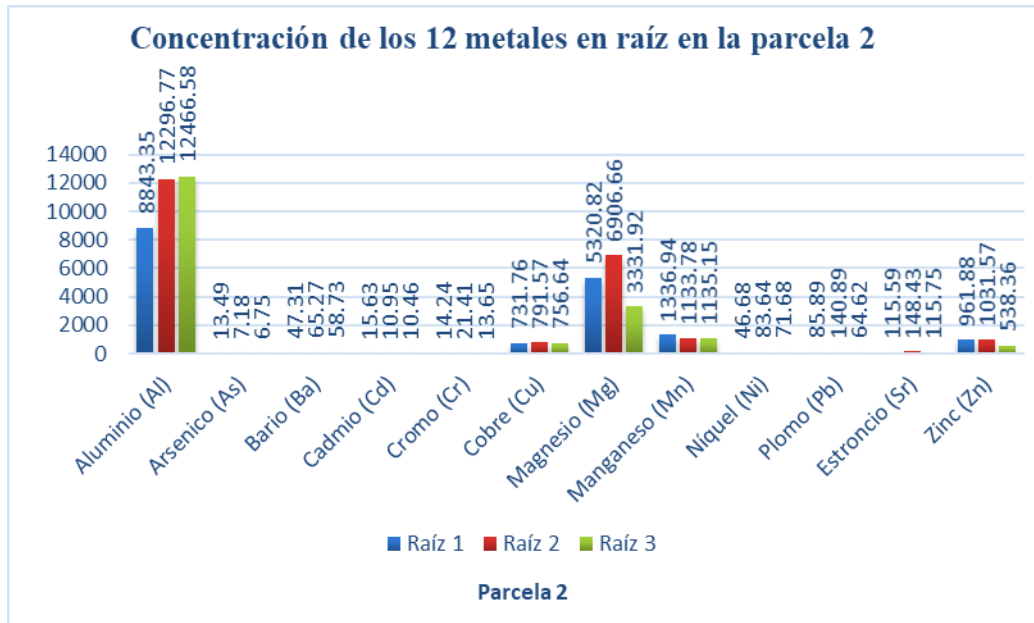
Figura 31. Concentración de los 12 metales en la raíz de la parcela 1 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales pesados en la raíz de la planta es el Aluminio con un valor de 19270,21 mg/kg y Magnesio con un valor de 16074,38 mg/kg. Asimismo se observó que el metal con menos acumulación es el Arsénico con un valor de 6,66 mg/kg.

3.8.2. Concentración de metales en la raíz de las plantas de la parcela 2.

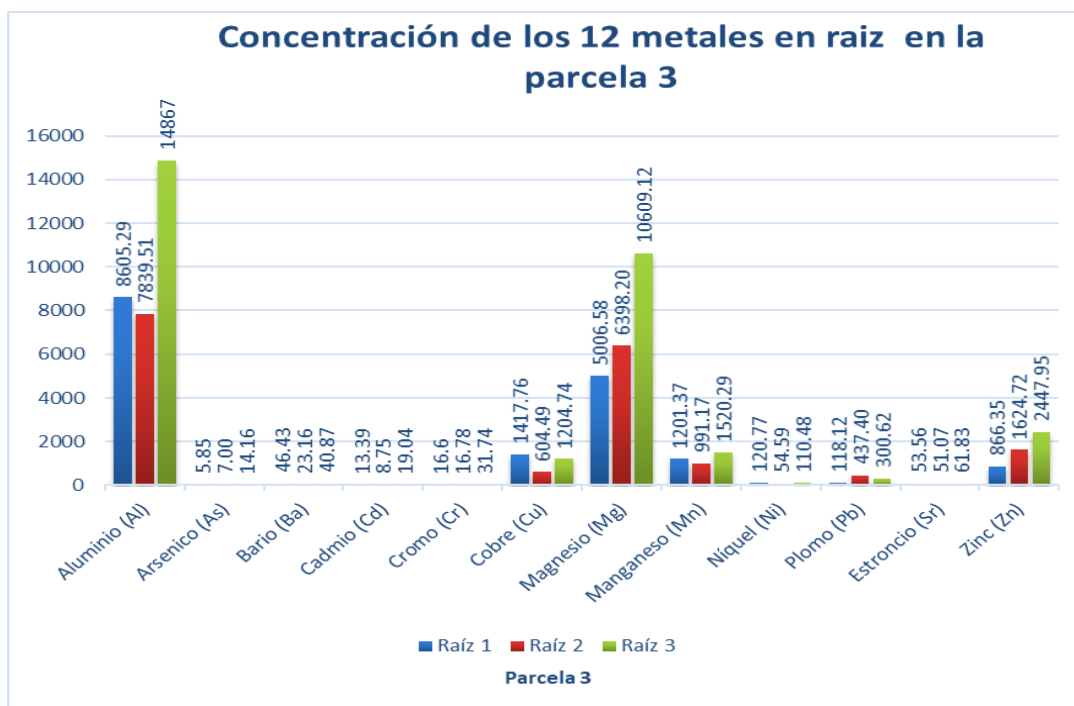
Figura 32. Concentración de los 12 metales pesados en la raíz de la parcela 2 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales pesados en la raíz de la planta es el Aluminio con un valor de 12466,58 mg/kg y el Magnesio con un valor de 6906,66 mg/kg. Asimismo, se observó que el metal con menos acumulación es el Arsénico con un valor de 6,75 mg/kg.

3.8.3. Concentración de metales en la raíz de las plantas de la parcela 3.

Figura 33. Concentración de los 12 metales en la raíz de la parcela 3 en suelo contaminado final con plantas.



En la figura se determinó que la mayor acumulación de metales pesados en la raíz de la planta es el Aluminio con un valor de 14867,0 mg/kg y el Magnesio con un valor de 10609,12 mg/kg. Asimismo, se observó que el metal con menos acumulación es el Arsénico con un valor de 5,85 mg/kg.

4. Factor de Bioconcentración y Factor de Translocación en el *Rumex acetosella*.

Tabla 12. Valores de BCF en la raíz de la parcela 1,2 y 3.

Metal	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
Aluminio	4,17	5,27	1,67	2,05	2,85	2,89	2,45	2,23	4,23
Arsénico	0,06	0,05	0,07	0,10	0,05	0,05	0,06	0,07	0,13
Bario	1,79	2,48	1,31	3,11	4,29	3,86	2,75	1,37	2,42
Cadmio	0,10	0,10	0,11	0,17	0,12	0,11	0,22	0,14	0,31
Cromo	2,39	2,94	0,75	0,98	1,47	0,94	1,28	1,30	2,45
Cobre	0,12	0,18	0,08	0,20	0,21	0,20	0,37	0,16	0,32
Magnesio	23,36	26,64	9,38	7,76	10,07	4,86	5,61	7,17	11,89
Manganeso	1,02	1,68	0,41	1,17	0,99	0,99	1,36	1,12	1,72
Níquel	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03
Plomo	0,82	1,18	0,24	0,33	0,54	0,25	0,29	1,09	0,75
Estroncio	20,44	19,86	14,26	17,33	22,26	17,36	7,01	6,68	8,09
Zinc	2,39	3,30	0,84	1,26	1,35	0,70	1,46	2,74	4,12

En la tabla, se observa que el mayor BCF para la especie de *Rumex acetosella* arroja valores mayores a 1 para los siguientes metales: Al (1,67) en la parcela 1; Ba (1,79 y 1,31) en la parcela 1 y (1,37) en la parcela 3; Cr (1,47) en la parcela 2, (1,28 y 1,30) en la parcela 3; Mn (1,02 y 1,68) en la parcela 1, (1,17) en la parcela 2, (1,36), (1,12), (1,72) en la parcela 3; Pb (1,18) en la parcela 1 y (1,09) en la parcela 3; Zn (1,26 y 1,35) para la parcela 2 y con (1,46) para la parcela 3. Estos indican que el *Rumex acetosella* es acumuladora para esos metales, los valores que se encuentran de color negrita y por debajo de 1 indica que la planta no es acumuladora para esos metales.

Tabla 13. Valores de TF en el tallo de la parcela 1, 2 y 3

	tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 1	tallo 2	tallo 3
Aluminio	0,13	0,48	0,23	0,09	0,09	0,10	0,12	0,13	0,08
Arsénico	0,23	0,73	0,59	0,16	0,35	0,45	0,65	0,53	0,23
Bario	0,13	0,41	0,37	0,19	0,14	0,17	0,21	0,46	0,22
Cadmio	0,10	0,67	0,32	0,23	0,33	0,48	0,36	0,48	0,18
Cromo	0,27	0,58	0,41	0,20	0,13	0,23	0,15	0,23	0,09
Cobre	0,08	0,52	0,35	0,34	0,42	0,52	0,31	0,83	0,33
Magnesio	0,50	0,56	0,74	0,28	0,26	0,56	0,31	0,25	0,14
Manganeso	0,17	0,70	0,78	0,28	0,35	0,51	0,47	0,48	0,31
Níquel	0,27	1,18	0,43	0,47	0,38	0,57	0,25	0,48	0,25
Plomo	0,10	0,39	0,44	0,23	0,16	0,41	0,30	0,08	0,12
Estroncio	0,35	0,47	0,51	0,53	0,42	0,51	0,82	0,93	0,41
Zinc	0,06	0,56	0,61	0,17	0,19	0,37	0,22	0,13	0,08

En el caso de TF solo en el caso del Ni tiene un valor de 1,18 en la parcela 1; es decir es hiperacumuladora porque transporta el metal de la raíz a la parte aérea, para el caso de los otros 11 metales los valores que arroja son menores a 1 lo que indica que la planta es fitoestabilizadora para esos metales, ya que no traslada los metales de la raíz a la parte aérea de la planta.

Tabla 14. Valores de BCF para la raíz de la parcela control.

	Parcela Control		
Metal mg/kg	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
Aluminio	0,16	0,03	0,03
Arsénico	0,53	0,31	0,53
Bario	0,49	0,31	0,32
Cadmio	1,23	0,69	1,39
Cromo	0,14	0,04	0,04
Cobre	0,14	0,05	0,07
Magnesio	0,40	0,13	0,14
Manganeso	0,30	0,07	0,13
Níquel	0,01	0,01	0,01
Plomo	0,06	0,02	0,02
Estroncio	0,62	0,60	0,41
Zinc	0,12	0,05	0,06

En la tabla número 15 se observa que en la parcela de control hay un solo metal que tiene valores por encima de 1, lo que indicaría que la especie de *Rumex acetosella* solo es bioacumuladora de Ni ya que tiene un valor de 1,23 a 1,39.

Tabla 16. Valores de Translocación para la raíz de la parcela control.

Metal mg/kg	Parcela Control		
	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
Aluminio	0,57	2,63	1,92
Arsénico	0,83	1,40	0,78
Bario	0,44	0,73	0,84
Cadmio	0,92	1,71	0,75
Cromo	0,53	2,02	1,59
Cobre	0,69	1,85	1,03
Magnesio	0,77	2,30	1,77
Manganeso	0,85	2,60	1,26
Níquel	1,03	2,08	0,79
Plomo	1,35	1,48	1,07
Estroncio	0,54	0,58	1,46
Zinc	0,73	1,21	0,90

En el caso del TF los metales que tienen valores mayores que uno son: Al (1,92), As (1,40), Cd (1,71), Cr (1,59), Cu (1,03 y 1.85), Mg (1.77), Mn (1.26), Ni (1.03), Pb (1,08, 1,35 y 1,48) y Zn (1,21), lo que indica que la especie de *Rumex acetosella* es hiperacumuladora para estos metales, ya que transportan el metal de la raíz a la parte aérea de la planta; en el caso del Al, Ba y Sr tiene valores inferiores a 1; es decir la planta es fitoestabilizadora para esos metales ya que no traslada los metales de la raíz a la parte aérea de la planta.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión:

En nuestro estudio de investigación, observamos que la concentración de metales en suelo contaminado inicial, tomadas de las tres parcelas, el mayor valor de metal se presenta en la parcela 2, donde se encontró que aluminio (Al) tiene 4319,74 mg/kg, continua la parcela 1 con un valor de 3657,59mg/kg de este metal, seguidamente Cu y Mn lleva un segundo valor elevado. Asimismo, Ba al igual que Sr y el Cr muestra menor concentración en la parcela 1,2 y 3, a diferencia de las tres parcelas aluminio fue la que mayor valor obtuvo de metal en un suelo contaminado, en un estudio realizado por (Ruíz & Armienta, 2012) se encontró que en los suelos hay valores altos de acumulación del cobre ,cadmio y Zinc donde genera impactos negativos ante el crecimiento de los vegetales y tarda años en reducir su volumen, y se debe considerar que se realicen pruebas en las zonas mineras para evitar que los cultivos puedan ser afectados.

Por otro lado, en una investigación realizada por (Alderete et al., 2019) aplicó la germinación de la especie *zacate ballico* sembrando en macetas y utilizando suelos contaminados con As. (100 mg/kg), donde el comportamiento de las plantas demostró diferentes alteraciones, se determinó que la mayor acumulación de metaloide se concentra en el tallo (82,5 mg/kg) que en raíz (66,0 mg/kg). Al analizar los resultados de la concentración de metales en el tallo como en raíz, de la planta se obtuvo que la mayor acumulación de metal se concentró en la raíz de la parcela 1, concentrándose mayor valor en la raíz con un valor de 13542,99 mg/kg) , mientras que en el tallo un valor menor de 4617,04 mg/kg aluminio, por lo que se puede determinar la mayor absorción de metal se concentra en la raíz, asimismo se observa la cantidad de plomo 66,00 mg/kg en el tallo, y 204,77 mg/kg, en raíz siendo una diferencia de 138,77 mg/kg más que en el tallo. Asimismo (Ramírez & Claudette, 2020), en su investigación indica que todos los suelos se debe llevar un tratamiento de fitorremediación de tipo fitoestabilizadora esto indica después de lograr la fitorremediación de los suelos contaminados con plomo.

En el caso del *Rumex acetosella* el metal con mayor acumulación en raíz es el Aluminio (Al) para las 3 parcelas: parcela 1 con un valor de 19270,21 mg/kg, parcela 2 con un valor de 12466,58 mg/kg y la parcela 3 con un valor de 14867,0 mg/kg. Asimismo, se demostró que el metal de mayor acumulación en el tallo de la planta es el Magnesio (Mg) con los siguientes valores; parcela 1 con un valor de 6316,14 mg/kg, en la parcela 2 un valor de

1870,28 mg/kg, parcela 3 con un valor de concentración de 1611,87 mg/kg y la parcela control con 3665,79 mg/kg de concentración de Magnesio. Un estudio realizado por, (Lizbeth & Yamilet, 2020) donde, fue estudiada dos especies siendo el *Juncus arcticus will.* y *Cortaderia rudiusscula stapf*, se obtuvo que la mayor concentración de metales pesados se encuentra en el aluminio, con un valor 2 844,6 mg/kg, seguido por la concentración de Mg con 1 912,5 mg/kg.

Con el propósito de determinar la fitoextracción de metales pesados en la especie de *Rumex acetosella* se analizaron los factores de bioconcentración y translocación para poder determinar su eficiencia en el proceso de fitorremediación. Según (Davila & Walter, 2017) en Sinchao los metales pesados Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ti, Hg, Ni, Fe, Sb en la especie *Calamagrostis tarmensis* afirma que esta especie no es fitoextractora de metales.

Por otro lado, se determinó la presencia de plomo donde se demostró que la mayor concentración se encuentra en la parcela número 3, con un valor mayor 402,77 mg/kg en suelos contaminados iniciales. por lo que se puede deducir que en la parcela numero 1 la capacidad de absorción de plomo disminuye por un promedio valor menor 195,80 mg/kg. (Izquierdo & López, 2020) indica que en su estudio la fitoextracción de metales pesados la acumulación de plomo se concentró con un valor 7,14 mg/kg en tallo como en hoja, a diferencia de los demás metales, Fe (1002,4), Mg (121,2), Cu (31,6), tienen un valor mayor.

4.2. Conclusiones:

- Concluimos que el *Rumex acetosella* es capaz de fitoextraer metales pesados de los suelos contaminados de los pasivos mineros del Sinchao.

- Se evaluó la capacidad fitoextractora del *Rumex acetosella* en suelo contaminados: donde se logró extraer metales pesados del suelo contaminado en cantidades significativas en caso de la parcela 1: aluminio 8185,88(mg/kg), Cobre 3251,87, Magnesio 3438,69 y Níquel (Ni) 2569,39. En la parcela 2 Aluminio (Al) 5598,89 mg/kg, Cobre (Cu) 3598,76 mg/kg, Magnesio 1448,68 (mg/kg), Manganeso 2085,06 mg/kg, Níquel (Ni) 3036,16 mg/kg, y Zinc (Zn) 1000,94 mg/kg. En la parcela 3 aluminio 6690,13 (mg/kg), Cobre (Cu) 3540,54 mg/kg, Magnesio 2044,42 mg/kg, Manganeso 2897,65 mg/kg, Níquel (Ni) 3007,70mg/kg, y Zinc (Zn) 1501,58 mg/kg se concluye que el *Rumex acetosella*, es capaz de crecer de manera adecuada en suelos contaminados; dónde se llevó a cabo la fitoextracción de metales

por la especie vegetal cabe mencionar que no hay mucha diferencia porque ambas parcelas tienen la misma cantidad de metales pesados.

- Se identificó los diferentes niveles de concentración de metales según la raíz, y la parte aérea de la planta, donde se observó la mayor acumulación de todos los metales en raíces tanto en la parcela (1,2,3) Aluminio 11727,16 mg/kg, Magnesio 8155,57 mg/kg, Manganeso 1176,52 mg/kg, Zinc 1459,63 mg/kg, donde se concluye que el *Rumex acetosella* se comporta como una planta acumuladora de los metales pesados en sus raíces. Además, se evidencio la mayor acumulación de metales en la parte aérea (hoja – tallo) Aluminio 2259,68mg/kg; Magnesio 3053,28 mg/kg; Manganeso 488,70 mg/kg y Zinc 390,79mg/kg; cabe mencionar que en las diferentes parcelas la mayor acumulación de metal se da en las raíces.

- Se logró evidenciar que la fitorremediación es una tecnología viable, eficiente y útil para la limpieza de los suelos contaminados por metales pesados, donde los contaminantes son absorbidos por la especie vegetal.

- Se pudo determinar los factores de bioconcentración (BCF) y los factores de translocación para la especie *Rumex acetosella*, donde declaramos que la especie vegetal del *Rumex acetosella*, de los elementos arsénico, cadmio, cobre y níquel, en las parcelas p1,p2,p3 indica que la planta no es acumuladora para estos metales debido a que se presentó valores menores a 1, Por otro lado, el factor de translocación para aluminio, bario, cromo, manganeso, plomo, zinc indica que la planta es acumuladora para esos metales. Ya que los valores son mayores a 1.

- Se hizo las comparaciones con los ECA (Estándares de Calidad Ambiental), donde se concluyó que las concentraciones de metales pesados sobrepasan los límites, que es lo que se esperaba debido a que son suelos de pasivos mineros.

4.3. Limitaciones:

- Una de las principales limitaciones que tuvimos estuvo relacionada con el concurso que realizo la Universidad Privada Del Norte en el cual salimos ganadoras y nos iban a financiar los análisis de laboratorio, sin embargo, nunca recibimos ese apoyo y eso nos limitó en el tiempo de presentación para la culminación de la tesis.

Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú

- Seguidamente de las limitaciones fue el acceso al lugar de estudio, ya que solo pasa una hora al día la movilidad.
- Por otro lado, tuvimos dificultades con algunos de los pobladores ya que la mayoría de ellos no dejan ingresar así de simple a sus terrenos, debido a que creen que estamos relacionados con la minería.
- Escasa información de la especie estudiada, ya que es una especie silvestre y no tiene ningún registro.
- Difícil acceso a la información que no tiene acceso abierto.
- Escasos estudios relacionados a fitoextracción de metales pesados en los últimos años.

REFERENCIAS

- Alderete, B., Valles, M., Canales, S., Peralta, M., & Orrantia, E. (octubre de 2019). Bioconcentración de Pb, Cd Y As en biomasa de *Eleocharis macrostachya* (CYPERACEAE). 93-101. doi:DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp03.11
- Arely, A. G. (2017). fitoextraccion de suelos contaminados por elementos potencialmente toxicos en la region de puebla. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/966>
- Caliope, A., Alarcón, A., & Ferrera, R. (2021). Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*.
- Carmelo, C., Ramirez, V., Martínez, J., Quintero, V., Baez, A., Munive, J. A., & Rosas, N. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de *Bacillus* como bioherramienta para la recuperación de suelos. *Alianzas y Tendencias BUAP*. doi:<http://doi.org/10.5281/zenodo.7091407>
- CARRIZALES, A. G. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humano. *10*, 2. doi:<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>
- Castillo, L., Satalaya, C., Paredes, U., Encalada, M., Zamora, J., & Cuadros, M. (13 de agosto de 2021). Pasivos ambientales mineros en el Perú, resultados de la auditoria de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM. *La contraloria general de la república*. Obtenido de <https://www.gob.pe/contraloria/colecciones/2319-documentos-de-trabajo>
- Castillo, S. P. (- Agosto de 2021). PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN EL PERÚ:. *contraloria general de la republica*, 10, 15. Obtenido de https://doc.contraloria.gob.pe/estudios-especiales/documento_trabajo/2021/PAM_FINAL_25-08-21.pdf
- Dávila, N. K., & Walter, L. C. (2017). Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona minera el sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca- Perú 2017. *Alicia*.
- Davila, N., & Walter, L. (2017). capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el sinchao distrito de chugur, provincia de Hualgayoc,cajamarca -peru 2017. Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:0f955849-6cb2-4f2b-9baa-ab804ae605fd>

- Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (diciembre de 2017). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es.
- Falcón Estrella, J. V. (2016). *Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea Mays L. en la estación experimental El Mantaro - Junín en el año 2016*.
- Fernandez, B., Mullisaca, E., & Huanchi, L. E. (mayo de 2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 4(2). doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- Flores, C., & Flores, K. (22 de julio de 2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos ,shapiro -willk y Kolmogorov-smirnov. 23(2). Obtenido de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/societas/article/view/2302>
- González Aragón, A. B. (2 de agosto de 2012). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN UN SUELO URBANO INDUSTRIAL Y EN LA VEGETACIÓN. 5(2), 1-10. Obtenido de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/32642>
- Hanan, A., & Mondragón, J. (2009). *Catálogo taxonómico de especies de México*. Obtenido de Conabio.: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/polygonaceae/rumex-acetosella/fichas/ficha.htm>
- Honorato Hernán Flores Lozano, D. L. (2017). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación. págs. 15-27. Obtenido de <file:///C:/Users/EQUIPO/Downloads/151-Texto%20del%20art%C3%ADculo-602-1-10-20230425.pdf>
- Huaranga, F., Méndez, E., Bernui, F., & Costilla, N. (2022). Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (*Zea mays L.*) y “beterraga” (*Beta vulgaris L.*). *ARNALDOA*. doi:<https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29106>
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcate, V., Bernui, F., & Costilla, N. (2021). Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum L.* (Poaceae). *Arnaldoa*, 149-162. doi:<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28109>
- Izquierdo, C. R., & López, C. C. (2020). "Fitoextracción de metales pesados del suelo del pasivo ambiental minero Aurora - Patricia por las especies herbáceas *Carex Mandoniana*, *Equisetum bogotense* y *Muehlenbeckia tamnifolia*, La Encañada, 2020". *"Fitoextracción de metales pesados del suelo del pasivo ambiental minero Aurora - Patricia por las especies herbáceas*. doi:10.100/978-3-030-75680-2_13.

- Izquierdo, C., & López, C. (2020). Fitoextracción de metales pesados de suelo del pasivo ambiental minero Aurora-Patricia por las especies herbáceas *Carex mandoniana*, *Equisetum bogotense* y *Muehlenbeckia tamnifolia*, LA Encañada, 2020". Obtenido de <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:7dd06ca2-b600-4216-8812-8e15aa75a3a4>
- Ley N°28271. (2004). *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera* .
- Lezama Oribe, J. M., & Saldaña Vega, D. O. (2018). Identificación de flora herbácea con mayor valor de importancia y evaluación de su capacidad fitoremediadora en suelos contaminados, Tumbacucho 2018.
- Lizardo, O. A. (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *revista de medio ambiente y minería*, 4(2). Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=pt&nrm=iss#:~:text=Las%20plantas%20capaces%20de%20absorber,geoqu%C3%ADmicas%20naturales%20o%20contaminaci%C3%B3n%20antropog%C3%A9nica.
- Lizbeth, G. M., & Yamilet, V. L. (2020). identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23983/Garc%C3%ADa%20Martos%20C%20Marleni%20Lizbeth%20-%20V%C3%A1squez%20Le%C3%B3n%20C%20Mayra%20Yamilet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lopez, E., & Rodriguez, D. (diciembre de 2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. 10(2). doi:<http://dx.doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998>
- Martínez, A., Pérez, E., Pinto, J., Gurrola, B., & Osorio, A. L. (junio de 2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 119. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009
- Medina Marcos, K. D., & Montano Chávez, Y. N. (2014). "DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE METALES PESADOS EN EL *Juncus arcticus* Willd. Y *Cortaderia rudijscula* Stapf, DE ÁREAS CONTAMINADAS CON EL PASIVO AMBIENTAL MINERO ALIANZA - ANCASH 2013".
- MINAM. (2014). Guía para el Muestreo de Suelos. 64. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

- Ministerio de Energía y Minas. (24 de junio de 2016). *direccion general de mineria*. Obtenido de <https://www.ritimo.org/Escenarios-de-transicion-y-alternativas-al-modelo-extractivista>
- Munive, R., Loli, O., Leyton, A., & Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*.
- Olivares, E., & Peña, E. (2009). Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus Dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del Estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. *Interciencia*.
- Pérez, M., & Betancur, A. (22 de 6 de 2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y. *sociedad y ambiente*(10), 95-112. Obtenido de <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=4557>
- Prieto Méndez, J. G. (2009, 10). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (. (2007). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Contaminación por metales pesados en suelos dañados por la industria minera. *SciELO Analytics*, 16(2), 1-6. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016206>
- Ramírez Gottfried, R. G. (2010). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* .
- Ramírez, R., & Claudette, I. (22 de 07 de 2020). "Eficacia de la fitorremediación de suelos contaminados contaminados con plomo utilizando *Phragmites australis* y enmienda en los pasivos ambientales. *Ramírez Briceño, K, Torres De la Rosa, Irene*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24004>
- Ramírez, R., García, M., Álvarez, V. d., González, G., & Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- René Antonio Hinojosa-Benavide, W. H.-C. (30 de julio de 2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por MetalesPesado. *centro de investigacion y desarrollo intelectual*, 1(1), págs. 25-36. doi:<https://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/43/27>

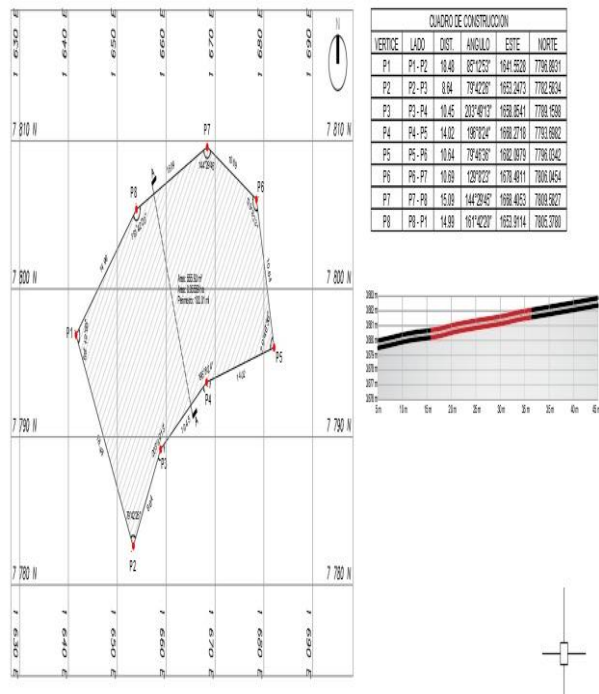
- Reyes Gil, R. B. (octubre de 2006). Metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 10(41). Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000500002
- Reyes, R. A. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*.
- Rodriguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*.
- Romero Ledezma, K. P. (2009). Contaminacion por metales pesados. *Revista científica ciencia médica*.
- Rosado Ormaza, P. A. (julio de 2022). evaluacion de contaminacion ambiental por aluminio en sedimentos del rio carrizal en descargas de lodos residuales de la planta potabilizadora. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1902/1/TIC_IA25D.pdf
- Ruíz, E., & Armienta, M. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. (vol.28), pp.103-117. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S0188-49992012000200001&lng=es&tIng=es
- Salas, W., & Hinojosa, R. (junio de 2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. 1(1). doi:<https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>
- Sepúlveda, B., Pavez, O., & Tapia, M. (2012). FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS DESDE RELAVES UTILIZANDO PLANTAS DE SALICORNIA SP. *FACULTAD DE LA INGENIERIA*, 20-26. Obtenido de <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280003.pdf>
- Soraya Puga, M. S. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera.
- Torres Gonzales, Y., Rojas Carrizales, A. G., Salas Contreras, W. H., & Hinojosa Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales. *Scientific Research Journal*, 1. doi: <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>
- Valverde, I. (25 de Jun de 2018). Fitorremediación. *Evaluación de la eficacia de la Heliconia psittacorum (heliconiaceae) cultivada hidropónicamente para la fitorremediación de aguas con presencia de cromo (VI)*, 44,48. Obtenido de <https://1library.co/article/fitorremediaci%C3%B3n-bases-te%C3%B3ricas-evaluaci%C3%B3n-eficacia-heliconia-psittacorum-heli.q2n6v4pq>
- Villa, C. (julio de 2019). Obtenido de <https://www.bbva.com/es/mx/sostenibilidad/economia-circular-que-es-y-que-podemos-hacer-para-contribuir-a-ella/>

**Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción
de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú**

Vizconde, J. Y. (2023). La fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros a través de *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*.

ANEXOS

Anexo 1. ubicación del área de estudio de la zona pasivo minero en Sinchao.



Fotografía 1. Elaboracion de cuadrado con tiras de madera de 1 m X 1 m



Fotografía 2. Sembrado de *Rumex Acetosella* en suelo contaminado mediante semillas y estacas.

El 30 de agosto del 2022 Se empieza a sembrar 3 parcelas de 1m x 1m en la cual colocamos una capa de tierra contaminada y tierra orgánica, la siembra se realizó mediante estacas, cada parcela tiene 100 plantaciones de las cuales no todas sobrevivieron.



Fotografía 3. Constantes monitoreos de las diferentes parcelas



Fotografía 4. crecimiento de las plantas de las diferentes parcelas



Fotografía 5. crecimiento de las plantas en las parcelas en un tamaño ya determinado para su respectivo análisis.



Anexos 2. Resultados del tejido vegetal del Rumex Acetosella en Sinchao



INFORME DE ENSAYO
N° 11935-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : ROXANA BEATRIZ CACHO CUEVA
 Propietario / Productor : SABINA TEJADA AYAY
 Dirección del cliente : JR. DOS MAYO N° 933A - CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 24 muestras
 Producto declarado : Pastos
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : SINCHAO / CHUGUR / HUALGAYOC / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 19/05/2023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 25/09/2023
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/09/2023
 Cotización del servicio : 334-23-BI
 Fecha de emisión : 24/11/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	AL310-BI-23	AL311-BI-23	AL312-BI-23	AL313-BI-23	AL314-BI-23	AL315-BI-23		
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1-HT1	P1-HT2	P1-HT3	P1-R1	P1-R2	P1-R3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0.05	4172.71	5380.41	4297.99	15263.27	19270.21	6092.49
Arsénico (As)	mg/kg	0.05	10.19	6.97	6.79	7.73	6.66	8.95
Bario (Ba)	mg/kg	0.05	15.50	22.92	14.21	32.22	44.56	23.58
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	13388.76	8437.79	12295.12	10370.86	26703.73	22386.84
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	12.23	8.83	8.39	9.65	9.97	10.53
Cobalto (Co)	mg/kg	0.05	0.16	<0.005	0.37	0.70	1.35	1.13
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	8.82	10.82	9.60	35.33	43.41	11.06
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	363.39	395.10	356.18	440.38	640.59	301.16
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	32510.56	35360.52	32692.06	34673.85	58852.95	23319.93
Potasio (K)	mg/kg	0.05	20929.82	13970.50	13194.98	4341.90	3477.04	9526.01
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	5836.59	6316.14	5473.14	14093.01	16074.38	5659.42
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	483.30	568.79	481.16	1071.88	1770.30	427.81
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.05	0.19	1.16	0.52	2.16	1.22	1.30
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	241.80	221.33	176.87	254.52	186.64	190.69
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	35.39	34.89	31.36	31.32	56.88	21.58
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	56.60	72.84	66.56	225.09	322.19	66.82
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.05	67.46	79.48	67.35	161.62	157.02	112.77
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	745.47	835.78	780.10	2072.97	2861.23	731.60

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarés
 Acreditado con la Norma
 NTP-ISO/IEC 17025:2017
 Dirección: Jr. Wirococha s/n Baños del Inca, Cajamarca - Cajamarca



Firmado digitalmente por:
 CABRERA HOYOS HEGUAR,
 Antonio FAU 20131385994 IN
 Motivo: Day V^o www.inia.gob
 Fecha: 24/11/2023 15:48:13-I



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11935-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	AL316-BI-23	AL317-BI-23	AL 318-BI-23	AL319-BI-23	AL320-BI-23	AL321-BI-23		
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	09:00	09:10	09:20	09:30	09:40	09:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	P2-HT1	P2-HT2	P2-HT3	P2-R1	P2-R2	P2-R3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0.05	808.92	1102.14	1304.08	8843.35	12296.77	12466.58
Arsenico (As)	mg/kg	0.05	2.15	2.52	3.02	13.49	7.18	6.75
Bario (Ba)	mg/kg	0.05	9.16	9.09	9.78	47.31	65.27	58.73
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	10233.79	10388.38	10461.80	7389.77	22443.63	24712.85
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	3.59	3.62	4.98	15.63	10.95	10.46
Cobalto (Co)	mg/kg	0.05	0.45	0.58	1.26	0.35	2.18	1.75
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	2.80	2.70	3.08	14.24	21.41	13.65
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	245.46	331.99	395.08	731.76	791.57	756.64
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	21016.54	29596.91	36537.01	46960.39	79540.05	71536.57
Potasio (K)	mg/kg	0.05	11456.48	10656.18	11113.97	4057.57	2640.75	3562.94
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	1492.44	1826.01	1870.28	5320.82	6906.66	3331.92
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	378.07	397.68	577.39	1336.94	1133.78	1135.15
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.05	1.11	0.48	0.94	0.08	0.24	0.27
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	142.55	258.52	175.58	181.00	184.87	162.01
Niquel (Ni)	mg/kg	0.05	21.74	32.11	40.73	46.68	83.64	71.68
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	19.89	22.56	26.35	85.89	140.89	64.62
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.05	61.43	61.76	59.26	115.59	148.43	115.75
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	166.89	197.96	197.86	961.88	1031.57	538.36

ITEM	13	14	15	16	17	18		
Código de Laboratorio	AL322-BI-23	AL323-BI-23	AL 324-BI-23	AL325-BI-23	AL326-BI-23	AL327-BI-23		
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	P3-HT1	P3-HT2	P3-HT3	P3-R1	P3-R2	P3-R3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0.05	1074.68	1019.40	1176.82	8605.29	7839.51	14867.68
Arsenico (As)	mg/kg	0.05	3.79	3.73	3.21	5.85	7.00	14.16
Bario (Ba)	mg/kg	0.05	9.88	10.69	8.98	46.43	23.16	40.87
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	9309.08	8419.98	8619.31	14100.33	9145.17	19840.06
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	4.88	4.16	3.37	13.39	8.75	19.04
Cobalto (Co)	mg/kg	0.05	0.06	0.11	0.37	4.14	0.77	3.97
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	2.44	3.85	2.88	16.60	16.78	31.74
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	445.94	504.19	403.57	1417.76	604.49	1204.74
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	25855.13	23319.21	24539.36	109833.73	46768.44	100775.12
Potasio (K)	mg/kg	0.05	8810.25	10253.92	7797.55	3023.38	6280.96	2741.48
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	1563.18	1611.87	1489.88	5006.58	6398.20	10609.12
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	563.12	478.11	470.69	1201.37	991.17	1520.29
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.05	0.18	0.35	0.24	1.51	0.98	0.75
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	137.82	153.22	142.75	144.80	184.74	150.50
Niquel (Ni)	mg/kg	0.05	30.63	25.95	27.14	120.77	54.59	110.48
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	35.79	33.80	34.90	118.12	437.40	300.62
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.05	44.03	47.36	25.42	53.56	51.07	61.83
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	189.82	204.62	198.60	866.35	1624.72	2447.95



INFORME DE ENSAYO
N° 11935-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

ITEM	19	20	21	22	23	24		
Código de Laboratorio	AL328-BI-23	AL329-BI-23	AL330-BI-23	AL331-BI-23	AL332-BI-23	AL333-BI-23		
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MC-HT1	MC-HT2	MC-HT3	MC-R1	MC-R2	MC-R3		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0.05	2082.42	2038.06	1381.43	3653.35	776.34	717.94
Arsenico (As)	mg/kg	0.05	4.97	4.88	4.72	6.01	3.49	6.06
Bario (Ba)	mg/kg	0.05	10.55	11.11	13.16	23.90	15.28	15.71
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	8709.86	9154.64	9212.41	12141.36	3787.80	3891.98
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	4.85	5.11	4.48	5.27	2.98	5.96
Cobalto (Co)	mg/kg	0.05	2.81	2.73	2.21	1.71	2.85	2.53
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	4.92	4.88	4.30	9.33	2.42	2.70
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	64.25	60.26	47.30	93.29	32.57	45.71
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	4460.37	3835.50	2242.20	5659.96	1006.82	1510.68
Potasio (K)	mg/kg	0.05	14709.23	14009.02	13000.38	7727.24	10962.97	9372.15
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	3665.79	3472.69	2962.41	4782.20	1506.70	1677.50
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	754.67	556.09	476.67	885.26	213.79	377.05
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.05	8.50	0.19	1.29	0.94	0.77	1.71
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	172.71	230.65	212.01	180.97	238.70	115.51
Niquel (Ni)	mg/kg	0.05	7.17	7.12	3.79	6.99	3.43	4.79
Piomo (Pb)	mg/kg	0.05	110.42	38.29	25.06	81.66	25.79	23.45
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.05	22.16	22.87	39.96	40.92	39.47	27.29
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	470.95	341.80	260.26	642.58	281.56	290.16





Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11935-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales pesados	Metales MP-AES 42 10 / EPA 3050

IV. CONSIDERACIONES

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

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

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

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

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



Firmado digitalmente por:
CABRERA HOYOS Hector
Antonio FAU 20131365004 soft
Motivo: Day V° B°
Fecha: 24/11/2023 15:40:43-0500

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Anexo 3. Resultados de metales pesados en suelos contaminados del *Rumex Acetosella* en Sinchao



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11793-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : ROXANA BEATRIZ CACHO CUEVA
 Propietario / Productor : SABINA TEJADA AYAY
 Dirección del cliente : JR. DOS MAYO N° 933A - CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 14 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : SINCHAO / CHUGUR / HUALGAYOC / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 19/05/2023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 25/09/2023
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/09/2023
 Cotización del servicio : 334-23-BI
 Fecha de emisión : 10/11/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU1001-BI-23	SU1002-BI-23	SU1003-BI-23	SU1004-BI-23	SU1005-BI-23	SU1006-BI-23		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	08:00	08:10	08:20	08:30	08:40	08:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1-SDT1	P1-SDT2	P1SAT1	P1-SAT2	P2-SAT1	P2-SAT2		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	8523,9339	7847,8240	3558,0312	3757,1488	4194,4014	4445,0718
Arsenicio (As)	mg/kg	0,05	109,1938	114,8244	137,9867	137,0704	132,4194	131,1739
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	34,3069	28,3865	15,5457	20,3770	12,5139	17,8939
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	7279,1140	6631,1122	3021,5517	3211,3839	4459,6565	4552,0341
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	77,9262	75,8477	95,3636	97,2058	93,9039	92,1558
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	283,7067	285,7762	384,1210	391,8632	379,3311	393,4383
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	24,4550	25,0514	15,0140	14,5528	14,5464	14,1330
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	3259,3014	3244,4338	3467,3840	3845,2708	3496,7455	3966,1869
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	311382,4788	325236,6455	421051,2038	428318,9947	448504,0110	427079,4617
Potasio (K)	mg/kg	0,05	1669,6284	1366,2335	999,7135	1018,5080	9190,8677	951,9126
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	3614,5628	3262,8167	596,7349	610,0008	644,0953	727,6956
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	2643,9145	2077,3481	854,7139	1251,3126	902,6272	1386,9579
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	549,9927	573,1272	766,0146	774,0756	783,0925	756,1469
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	121,1608	136,2136	130,9552	143,3294	86,8058	115,4261
Níquel (Ni)	mg/kg	0,05	2519,0847	2619,6969	3470,5645	3376,7655	3493,8686	3452,7790
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	257,8972	204,7957	201,6956	344,2621	195,7951	324,9116
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	25,3385	23,5375	6,1780	9,6337	5,2485	8,0896
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	1417,0401	1376,8286	874,9064	858,6730	768,8349	759,9570



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Asesorante Nuevas FAU 23131305084
s/n
Módulo: Day V° B°
Fecha: 10/11/2023 10:25:38-0500



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
 Dirección: Jr. Wacocha s/n Baños del Inca, Cajamarca – Cajamarca

Página 1 de 3
 F-46 / Ver.04
www.inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11793-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU1007-BI-23	SU1008-BI-23	SU1009-BI-23	SU1010-BI-23	SU1011-BI-23	SU1012-BI-23		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023	: 19/05/2023		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	09:00	09:10	09:20	09:30	09:40	09:50		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	P2-SDT1	P2-SDT2	P3-SAT1	P3-SAT2	P3-SDT1	P3-SDT2		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
Metales pesados (**)								
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	5559,91054	5637,87386	3338,83378	3687,83242	6312,24788	7088,01647
Arsenico (As)	mg/kg	0,05	84,86663	85,03340	99,79765	110,96687	90,33475	90,34117
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	31,60455	30,80853	15,29324	18,48362	25,23342	31,43741
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	5166,63730	4014,44944	2359,31144	5519,27991	5909,31455	4346,64676
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	48,83310	49,37241	60,99182	62,94160	42,28442	48,69128
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	273,88034	262,68322	330,65275	331,74210	288,46837	257,64269
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	16,04845	16,35494	12,67080	13,19050	16,98645	19,57054
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	3561,89988	3635,62833	3621,90742	4024,86957	3697,26791	3383,88836
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	365441,12917	375231,76858	440879,71503	439032,47100	376311,80150	359509,35834
Potasio (K)	mg/kg	0,05	613,24876	631,97859	440,81244	516,88216	590,09543	594,33005
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	1441,87053	1455,49846	617,71084	1166,86045	1870,68925	2218,15652
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	2443,47724	1726,63811	824,83479	947,36441	1973,05730	3822,23461
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	655,22634	650,70947	770,79409	743,63038	649,99497	603,22410
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	135,31940	121,10539	119,40286	107,14386	119,02486	126,89277
Niquel (Ni)	mg/kg	0,05	3017,33710	3054,99283	3561,07065	3494,30908	3120,14987	2895,25297
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	226,49759	144,27509	245,92951	559,61994	225,52821	689,34872
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	14,89023	16,24037	6,35733	8,92208	13,03205	17,50150
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	1037,72696	964,15222	606,27561	581,45352	1257,52274	1745,62946

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1013-BI-23	SU1014-BI-23				
Matriz Analizada	Suelo	Suelo				
Fecha de Muestreo	: 19/05/2023	: 19/05/2023				
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:00	10:10				
Condición de la muestra	Conservada	Conservada				
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	MSC1	MSC2				
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Metales pesados (**)						
Aluminio (Al)	mg/kg	0,05	23010,41723	22716,62732		
Arsenico (As)	mg/kg	0,05	12,97465	9,90618		
Bario (Ba)	mg/kg	0,05	48,83333	48,60907		
Calcio (Ca)	mg/kg	0,05	13255,98236	11487,27927		
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,05	3,46828	5,13281		
Cobalto (Co)	mg/kg	0,05	85,16590	85,52250		
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	69,65626	66,56549		
Cobre (Cu)	mg/kg	0,05	690,93310	603,81080		
Hierro (Fe)	mg/kg	0,05	62187,30736	53804,67301		
Potasio (K)	mg/kg	0,05	38307,03562	1368,60601		
Magnesio (Mg)	mg/kg	0,05	12037,16618	11959,36260		
Manganeso (Mn)	mg/kg	0,05	2956,41801	3032,25197		
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,05	108,12289	89,16748		
Sodio (Na)	mg/kg	0,05	196,59286	149,52097		
Niquel (Ni)	mg/kg	0,05	698,15413	639,76705		
Plomo (Pb)	mg/kg	0,05	1303,09295	1375,70761		
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,05	66,50091	66,06279		
Zinc (Zn)	mg/kg	0,05	5337,49650	5180,02733		



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliages
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Jr. Miracocha sin Baños del Inca, Cajamarca - Cajamarca



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Noestas FAU 20131305994
soft
Método: Doy Vº Bº
Fecha: 13/11/2023 10:25:38-0500
Página 21
E-46 / Va
www.inia.gob



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO
N° 11793-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales pesados	Metales MP-AES 4210 / EPA 3050

IV. CONSIDERACIONES

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

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

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

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

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



Permito digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Nicolas FAU 20131385064
soft
Métro: Day Vº 8º
Fecha: 13/11/2023 10:25:58-0500

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú

Anexo 8. Datos para el procesamiento de datos en el SPSS

Factor de bioconcentración y translocación en las 3 parcelas.

FB-P1													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PR1RA1	15263.27	7.73	32.22	9.65	35.33	440.38	14093.01	1071.88	31.32	225.09	161.62	2072.97	
PR1RA2	19270.21	6.66	44.56	9.97	43.41	640.59	16074.38	1770.3	56.88	322.19	157.02	2861.23	
PR1RA3	6092.49	8.95	23.58	10.53	11.06	301.16	5659.42	427.81	21.58	66.82	112.77	731.6	
suelo1R1	3558.0312	137.9867	15.5457	95.3636	15.014	3467.3841	596.7349	854.7139	3470.5645	201.6956	6.178	874.9064	
suelo1R2	3757.1486	137.0704	20.377	97.2058	14.5528	3845.2708	610.0008	1251.3126	3376.7655	344.2621	9.6337	858.673	
PROMEDIO	3657.5899	137.52855	17.96135	96.2847	14.7834	3656.32745	603.36785	1053.01325	3423.665	272.97885	7.90585	866.7897	
FBP1RAI21	4.17304	0.05621	1.79385	0.10022	2.38984	0.12044	23.35724	1.01792	0.00915	0.82457	20.44309	2.39155	
FBP1RAI22	5.26855	0.04843	2.48088	0.10355	2.93640	0.17520	26.64109	1.68118	0.01661	1.18027	19.86124	3.30095	
FBP1RAI23	1.66571	0.06508	1.31282	0.10936	0.74814	0.08237	9.37972	0.40627	0.00630	0.24478	14.26412	0.84403	

Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PRP1TA1	1188.961	5.808	8.558	2.33	3.056	249.741	1536.666	465.662	27.725	29.448	29.445	185.87	
PRP1TA2	2133.124	10.9	12.605	7.443	3.909	1002.985	1077.273	904.923	90.887	42.152	23.787	467.081	
PRP1TA3	856.111	8.534	8.734	3.35	2.9	446.056	1344.433	722.697	45.484	41.301	21.4	267.767	
PRP1RA1	9422.689	25.109	67.35	22.221	11.477	3241.721	3054.362	2715.81	104.17	281.045	84.68	3193.93	
PRP1RA2	4440.071	14.853	31.076	11.036	6.795	1918.978	1913.245	1284.037	77.333	108.889	50.361	833.07	
PRP1RA3	3737.565	14.376	23.453	10.593	7.109	1266.049	1806.563	921.936	106.016	93.246	41.987	442.109	
FTP1TALLO1	0.12618	0.23131	0.12707	0.10486	0.26627	0.07704	0.50311	0.17146	0.26615	0.10478	0.34772	0.05819	
FTP1TALLO2	0.48043	0.73386	0.40562	0.67443	0.57528	0.52267	0.56306	0.70475	1.17527	0.38711	0.47233	0.56067	
FTP1TALLO3	0.22906	0.59363	0.37240	0.31625	0.40793	0.35232	0.74419	0.78389	0.42903	0.44293	0.50968	0.60566	

FB-P2													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PR2RA1	8843.35	13.49	47.31	15.63	14.24	731.76	5320.82	1336.94	46.68	85.89	115.59	961.88	
PR2RA2	12296.77	7.18	65.27	10.95	21.41	791.57	6906.66	1133.78	83.64	140.89	148.43	1031.57	
PR2RA3	12466.58	6.75	58.73	10.46	13.65	756.64	3331.92	1135.15	71.68	64.62	115.75	538.36	
suelo2R1	4194.4014	132.4194	12.5139	93.9039	14.5464	3496.7455	644.0953	902.6272	3493.8686	195.7951	5.2485	768.8349	
suelo2R2	4445.0718	131.1739	17.8939	92.1558	14.5464	3966.1869	727.6956	1386.9579	3452.779	324.9116	8.0896	759.967	
PROMEDIO	4319.7366	131.79665	15.2039	93.02985	14.5464	3731.4662	685.89545	1144.79255	3473.3238	260.35335	6.66905	764.40095	
FBP2RAI21	2.04719658	0.10235465	3.1117016	0.16801059	0.97893637	0.19610522	7.75747966	1.16784478	0.01343958	0.32989781	17.3323037	1.25834485	
FBP2RAI22	2.8466481	0.05447786	4.29297746	0.11770416	1.47184183	0.21213377	10.0695521	0.99038031	0.02408068	0.54114917	22.2565433	1.34951428	
FBP2RAI23	2.88595837	0.05121526	3.86282467	0.11243703	0.93837651	0.20277284	4.85776659	0.99157703	0.02063729	0.24820115	17.3562951	0.70429007	

FT-P2													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PRP2TA1	808.92	2.15	9.16	3.59	2.8	245.46	1492.44	378.07	21.74	19.89	61.43	166.89	
PRP2TA2	1102.14	2.52	9.09	3.62	2.7	331.99	1826.01	397.68	32.11	22.56	61.76	197.96	
PRP2TA3	1304.08	3.02	9.78	4.98	3.08	395.08	1870.28	577.39	40.73	26.35	59.26	197.86	
PRP2RA1	8843.35	13.49	47.31	15.63	14.24	731.76	5320.82	1336.94	46.68	85.89	115.59	961.88	
PRP2RA2	12296.77	7.18	65.27	10.95	21.41	791.57	6906.66	1133.78	83.64	140.89	148.43	1031.57	
PRP2RA3	12466.58	6.75	58.73	10.46	13.65	756.64	3331.92	1135.15	71.68	64.62	115.75	538.36	
FTP2TALLO1	0.09147212	0.15937732	0.19361657	0.2296865	0.19662921	0.33543785	0.2804906	0.28278756	0.46572408	0.23157527	0.53144736	0.17350397	
FTP2TALLO2	0.08962841	0.35097493	0.13926766	0.33059361	0.12610929	0.419407	0.26438394	0.35075588	0.38390722	0.16012492	0.41608839	0.19190166	
FTP2TALLO3	0.10460607	0.44740741	0.16652477	0.47609943	0.22564103	0.52215056	0.561322	0.50864643	0.56821987	0.40776849	0.51196544	0.36752359	

Determinación de la capacidad del *Rumex acetosella* en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú

FB-P3													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PR3RA1	8605.29	5.85	46.43	13.39	16.6	1417.76	5006.58	1201.37	120.77	118.12	53.56	866.35	
PR3RA2	7839.51	7	23.16	8.75	16.78	604.49	6398.2	991.17	54.59	437.4	51.07	1624.72	
PR3RA3	14867.68	14.16	40.87	19.04	31.74	1204.74	10609.12	1520.29	110.48	300.62	61.83	2447.95	
suelo3R1	3338.83378	99.79765	15.29324	60.99182	12.6708	3621.90742	617.71084	824.63479	3561.07065	245.92951	6.35733	606.27561	
suelo3R2	3687.83242	110.96687	18.48362	62.9416	13.1905	4024.86957	1166.86045	947.36441	3494.30908	559.61994	8.92208	581.45352	
PROMEDIO	3513.3331	105.38226	16.88843	61.96671	12.93065	3823.3885	892.285645	885.9996	3527.68987	402.774725	7.639705	593.864565	
FBP3RAIZ1	2.44932369	0.05551219	2.74921944	0.21608376	1.2837715	0.37081244	5.61096105	1.35594869	0.03423487	0.29326567	7.01074191	1.45883431	
FBP3RAIZ2	2.23135973	0.06642484	1.37135305	0.14120485	1.29769192	0.15810321	7.17057372	1.11870254	0.01547472	1.08596685	6.68481309	2.73584264	
FBP3RAIZ3	4.23178776	0.13436797	2.41999996	0.30726175	2.45463298	0.31509746	11.8898248	1.71590371	0.03131795	0.74637255	8.09324444	4.1220678	

FT-P3													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
PRP3TA1	1074.68	3.79	9.88	4.88	2.44	445.94	1563.18	563.12	30.63	35.79	44.03	189.82	
PRP3TA2	1019.4	3.73	10.69	4.16	3.85	504.19	1611.87	478.11	25.95	33.8	47.36	204.62	
PRP3TA3	1176.82	3.21	8.98	3.37	2.88	403.57	1489.88	470.69	27.14	34.9	25.42	198.6	
PRP3RA1	8605.29	5.85	46.43	13.39	16.6	1417.76	5006.58	1201.37	120.77	118.12	53.56	866.35	
PRP3RA2	7839.51	7	23.16	8.75	16.78	604.49	6398.2	991.17	54.59	437.4	51.07	1624.72	
PRP3RA3	14867.68	14.16	40.87	19.04	31.74	1204.74	10609.12	1520.29	110.48	300.62	61.83	2447.95	
FTP3TALLO1	0.12488597	0.64786325	0.21279345	0.36445108	0.14698795	0.31453843	0.31222511	0.46873153	0.25362259	0.30299695	0.82206871	0.21910313	
FTP3TALLO2	0.13003364	0.53285714	0.46157168	0.47542857	0.22943981	0.83407501	0.25192554	0.48236932	0.47536179	0.07727481	0.92735461	0.1259417	
FTP3TALLO3	0.0791529	0.22669492	0.21972107	0.1769958	0.09073724	0.33498514	0.14043389	0.3096054	0.24565532	0.11609341	0.41112728	0.08112911	

Factor de bioconcentración de la parcela control

FB-PC													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
CO1RA1	3653.35	6.01	23.9	5.27	9.33	93.29	4782.2	885.26	6.99	81.66	40.92	642.58	
CO1RA2	776.34	3.49	15.28	2.98	2.42	32.57	1506.7	213.79	3.43	25.79	39.47	281.56	
CO1RA3	717.94	6.06	15.71	5.96	2.7	45.71	1677.5	377.05	4.79	23.45	27.29	290.16	
SO1	23010.4172	12.97465	48.83333	3.46828	69.65626	690.9331	12037.1662	2956.41801	698.15413	1303.09295	66.50091	5337.4955	
SO2	22716.6273	9.90618	48.60907	5.13281	66.56549	603.8108	11959.3626	3032.25197	639.76705	1375.70761	66.06279	5180.02733	
PROMEDIO	22863.5223	11.440415	48.7212	4.300545	68.110875	647.37195	11998.2644	2994.33499	668.96059	1339.40028	66.28185	5258.76142	
FBCO1RA1	0.15978947	0.52533059	0.49054621	1.22542608	0.13698253	0.14410572	0.39857431	0.29564494	0.01044905	0.06096758	0.61736358	0.12219227	
FBCO1RA2	0.0339554	0.30505886	0.31362118	0.69293543	0.0355303	0.05031111	0.1255765	0.07139816	0.00512736	0.01925489	0.5954873	0.05354112	
FBCO1RA3	0.03140111	0.52970106	0.3224469	1.38587086	0.03964125	0.07060856	0.13981189	0.12592111	0.00716036	0.01750784	0.41172659	0.05517649	

Factor de translocación de la parcela control

FT-PC													
Muestras	Al	As	Ba	Cd	CR	Cu	Mg	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
CO1TA1	2082.42	4.97	10.55	4.85	4.92	64.25	3665.79	754.67	7.17	110.42	22.16	470.95	
CO1TA2	2038.06	4.88	11.11	5.11	4.88	60.26	3472.69	556.09	7.12	38.29	22.87	341.8	
CO1TA3	1381.43	4.72	13.16	4.48	4.3	47.3	2962.41	476.67	3.79	25.06	39.96	260.26	
CO1RA1	3653.35	6.01	23.9	5.27	9.33	93.29	4782.2	885.26	6.99	81.66	40.92	642.58	
CO1RA2	776.34	3.49	15.28	2.98	2.42	32.57	1506.7	213.79	3.43	25.79	39.47	281.56	
CO1RA3	717.94	6.06	15.71	5.96	2.7	45.71	1677.5	377.05	4.79	23.45	27.29	290.16	
FT-CO1TA1	0.5700029	0.8269551	0.4414226	0.9203036	0.5273312	0.6887126	0.7665489	0.852484	1.0257511	1.352192	0.5415445	0.7329049	
FT-CO1TA2	2.62521576	1.3982808	0.72709424	1.7147651	2.01652893	1.85016887	2.30483175	2.60110389	2.07580175	1.48468399	0.57942741	1.21395085	
FT-CO1TA3	1.92415801	0.77887789	0.837683	0.75167785	1.59259259	1.03478451	1.76596721	1.26420899	0.79123173	1.06865672	1.46427263	0.89695341	