

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

**BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS TÓXICOS EN TRES
ESPECIES VEGETALES EMERGENTES EN LOS PASIVOS MINEROS
DEL SINCHAO CAJAMARCA, 2021 – 2022**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentado por:

JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ

Asesor:

M.Cs. MARCO ALFREDO SÁNCHEZ PEÑA

Cajamarca, Perú

2025



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Junior Ludwig Eduardo Gonzales Sanchez
DNI: 46040004
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.
Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental.
2. Asesor: M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☒ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Bioacumulación de metales pesados tóxicos en tres especies vegetales emergentes en los pasivos mineros del Sinchao Cajamarca, 2021 – 2022
6. Fecha de evaluación: **20/10/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **16%**
9. Código Documento: **3117:515555998**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **21/10/2025**

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña DNI: 41799695

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA – PERÚ



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las ^{16:10}..... horas, del día 30 de julio del dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el, **Dr. JIMY FRANK OBLITAS CRUZ, M.Cs. LUIS DÁVILA ESTELA, M.Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI**, y en calidad de Asesor el **M.Cs. MARCO ALFREDO SÁNCHEZ PEÑA**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS TÓXICOS EN TRES ESPECIES VEGETALES EMERGENTES EN LOS PASIVOS MINEROS DEL SINCHAO CAJAMARCA, 2021-2022”**., presentada por el **Bachiller en Ingeniería de Minas JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ^{APROBAR}.....con la calificación de ^{DIECISEIS (16)}.....la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ingeniería de Minas, JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS** Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las ^{17:20}..... horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
M.Cs. Marco Alfredo Sánchez Peña
Asesor


.....
Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Luis Dávila Estela
Jurado Evaluador


.....
M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto, por guiarme en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas importantes que han sido mi soporte y compañía durante toda mi formación.

A mis padres José y Carmen por el amor y apoyo incondicional que me brindan, por infundirme su gran ejemplo de perseverancia y constancia para salir siempre adelante, por su paciencia y consejos, por enseñarme el camino de la vida y sobre todo por creer en mí y llevarme siempre en sus oraciones, por haberme inculcado valores, por haberme brindado motivación día a día, la cual me ha permitido ser una persona de bien.

A mi hermana Lizet, por enseñarme a luchar por mis sueños, por acompañarme en mis aciertos y ayudarme a superar momentos difíciles; quien me inculcó con su ejemplo el valor del estudio.

A mis familiares Cristina y Lucero, por ser personas dignas de admirar y que estuvieron brindándome su apoyo en todo momento y por haber estado siempre en los momentos más importantes de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Dios, por haberme concedido la gracia de terminar este trabajo de investigación, por la fuerza que me ha brindado para hacer este sueño realidad y por guiar cada uno de mis pasos.

A mis padres José, Carmen, a mi hermana Lizet, y a mis familiares Cristina, Lucero, que siempre me estuvieron apoyando y que confiaron en mí, gracias por su comprensión, por la estima recibida, sin la cual no hubiese tenido la fuerza y energía necesarias para crecer como persona y como profesional de bien.

Agradecer a mi asesor Blgo. Marco Alfredo Sánchez Peña, por su amabilidad, su valioso tiempo, material facilitado e ideas para la realización de este trabajo de investigación, por su atención y orientación a mis consultas y sugerencias permitiendo que este trabajo de investigación sea de muy buen aprovechamiento para la sociedad y para las personas que lean este trabajo de investigación. Agradecerle por ser un excelente maestro y en todos estos años haya sido el mejor apoyo para mí, agradezco su gran aporte en este trabajo y su sincera amistad.

Solo en la oscuridad puedes ver las estrellas

-Martin Luther King

CONTENIDO

LISTA DE ABREVIACIONES	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la investigación	4
<i>2.1.1. Antecedentes Internacionales</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2. Antecedentes Nacionales</i>	<i>6</i>
<i>2.1.3. Antecedentes Locales</i>	<i>8</i>
2.2. Bases teóricas	10
<i>2.2.1. El suelo</i>	<i>10</i>
<i>2.2.2. Contaminación del suelo por minería.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3. Metales pesados</i>	<i>11</i>
<i>2.2.4. Relación de las especies vegetales con los metales pesados.....</i>	<i>11</i>
<i>2.2.5. Fitotoxicidad.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.6. Fitorremediación</i>	<i>12</i>
<i>2.2.7. Fitoextracción.....</i>	<i>13</i>
<i>2.2.8. Fitoestabilización.....</i>	<i>13</i>

2.2.9. <i>Factor de Bioconcentración (BCF)</i>	14
2.2.10. <i>Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</i>	15
2.2.11. <i>Factor de Translocación (FT)</i>	15
2.3. Definición de términos básicos	16
2.3.1. <i>Bioacumulación</i>	16
2.3.2. <i>Biomagnificación</i>	16
2.3.3. <i>Especies vegetales</i>	16
2.3.4. <i>Pasivos Ambientales Mineros</i>	16
2.3.5. <i>Suelo contaminado</i>	16
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Ubicación de la zona de estudio	17
3.2. Población, muestra y unidad de análisis	18
3.2.1. <i>Población</i>	18
3.2.2. <i>Muestra</i>	18
3.2.3. <i>Unidad de análisis</i>	18
3.3. Tipo de investigación	18
3.4. Materiales, técnicas, instrumentos y métodos	18
3.4.1. <i>Materiales</i>	18
3.4.1.1. <i>Protección personal</i>	18

3.4.1.2. Para la obtención de muestras – especies vegetales.	18
3.4.1.3. Para la prensa botánica.	19
3.4.1.4. Para realizar anotaciones.	19
3.4.1.5. Para el levantamiento topográfico del terreno.	19
3.4.1.6. Para el análisis de muestras.....	19
3.4.2. <i>Técnicas</i>	19
3.4.2.1. Observación de campo.....	19
3.4.2.2. Análisis documental.	19
3.4.3. <i>Instrumentos</i>	20
3.5. Procedimiento	20
3.5.1. <i>Fase de pre – campo</i>	20
3.5.2. <i>Fase de campo</i>	20
3.5.3. <i>Fase de herbario</i>	23
3.5.3.1. Secado y preservación de muestras de especies vegetales.	23
3.5.3.2. Identificación de las especies vegetales.....	23
3.5.4. <i>Fase de gabinete</i>	24
3.5.4.1. Comparar la concentración de metales en el suelo contaminado y no contaminado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.....	24

3.5.4.2. Analizar las concentraciones de metales en el tejido vegetal de las tres especies emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado.	24
3.5.4.3. Determinar el factor de bioacumulación, bioconcentración (BCF) y translocación (FT) de los metales en las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado.	24
3.5.4.4. Correlacionar las variables del estudio pertenecientes al suelo contaminado y no contaminado.	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes.....	26
4.2. Comparación de las concentraciones de metales pesados tóxicos del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	32
4.3. Concentraciones de metales en el tejido vegetal de las tres especies emergentes que se desarrollan en el suelo no contaminado y contaminado.....	34
4.3.1. <i>Cd</i>	34
4.3.2. <i>Ca</i>	37
4.3.3. <i>Cu</i>	39
4.3.4. <i>Fe</i>	41
4.3.5. <i>Mg</i>	43

4.3.6.Mn	45
4.3.7.Pb	47
4.3.8.Zn	49
4.4. Factor de Bioacumulación	51
4.5. Factor de Bioconcentración (BCF).....	52
4.6. Factor de Translocación (FT).....	54
4.7. Correlación de las variables del estudio	57
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1. Conclusiones.....	61
5.2. Recomendaciones.....	63
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	64
CAPÍTULO VII. ANEXOS	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Coordenadas UTM - Puntos de monitoreo</i>	20
Tabla 2. <i>Factor de bioacumulación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado</i>	51
Tabla 3. <i>Factor de bioacumulación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado</i>	52
Tabla 4. <i>Factor de bioconcentración de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado</i>	53
Tabla 5. <i>Factor de bioconcentración de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado</i>	54
Tabla 6. <i>Factor de translocación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado</i>	55
Tabla 7. <i>Factor de translocación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado</i>	56
Tabla 8. <i>Matriz de correlación de las variables pertenecientes al suelo no contaminado</i>	57
Tabla 9. <i>Matriz de correlación de las variables pertenecientes al suelo contaminado.....</i>	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Mapa de Ubicación de las estaciones de monitoreo.</i>	17
Figura 2. <i>Rumex acetosella.</i>	21
Figura 3. <i>Gentianella graminea.</i>	22
Figura 4. <i>Bulbostylis juncooides.</i>	23
Figura 5. <i>Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Rumex acetosella.</i>	27
Figura 6. <i>Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Gentianella graminea.</i>	29
Figura 7. <i>Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Bulbostylis juncooides.</i>	31
Figura 8. <i>Comparación del Cd del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con el ECA para suelo agrícola.</i>	32
Figura 9. <i>Comparación del Pb del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con el ECA para suelo agrícola.</i>	33
Figura 10. <i>Concentración de Cd en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	36
Figura 11. <i>Concentración de Ca en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	38

Figura 12. <i>Concentración de Cu en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	40
Figura 13. <i>Concentración de Fe en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	42
Figura 14. <i>Concentración de Mg en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	44
Figura 15. <i>Concentración de Mn en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	46
Figura 16. <i>Concentración de Pb en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	48
Figura 17. <i>Concentración de Zn en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.</i>	50
Figura 18. <i>Especie vegetal Rumex acetosella.</i>	73
Figura 19. <i>Delimitación del área – Rumex acetosella.</i>	73
Figura 20. <i>Extracción de plantas de Rumex acetosella.</i>	74
Figura 21. <i>Observación de plantas Gentianella graminea.</i>	74
Figura 22. <i>Extracción de plantas de Gentianella graminea.</i>	75
Figura 23. <i>Delimitación del área – Bulbostylis juncooides.</i>	75

Figura 24. <i>Extracción de plantas de <i>Bulbostylis juncooides</i>.</i>	76
Figura 25. <i>Georreferenciación de los puntos de muestreo utilizando el GPS.</i>	76
Figura 26. <i>Estación experimental INIA – Baños del Inca.</i>	77
Figura 27. <i>Muestras de las especies vegetales.</i>	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Panel fotográfico.....73

Anexo B. Resultados del Análisis del suelo, raíz y tallo78

LISTA DE ABREVIACIONES

ANA: Autoridad Nacional del Agua.

BCF: Factor de Bioconcentración.

ECA: Estándar de Calidad Ambiental.

EEA: Estación Experimental Agraria.

FONAM: Fondo Nacional del Ambiente.

INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria.

MINAM: Ministerio del Ambiente.

PAM: Pasivo Ambiental Minero.

SC: Suelo Contaminado.

SNC: Suelo No Contaminado.

FT: Factor de Translocación.

RESUMEN

La región Cajamarca presenta gran cantidad de pasivos ambientales mineros, siendo uno de ellos el lugar llamado Sinchao, ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. El presente trabajo de investigación tiene como propósito determinar la bioacumulación de metales pesados tóxicos en tres especies vegetales emergentes (*Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides*) en los pasivos mineros. El tipo de investigación es no experimental y de diseño transversal en la clasificación correlacional – causal. Se determinó que las concentraciones de metales en el suelo contaminado sobrepasan a las del suelo no contaminado de las especies *Rumex acetosella* y *Bulbostylis juncooides*, sin embargo, en *Gentianella graminea* se obtuvo mayores valores en Ca y Fe correspondientes al suelo no contaminado. Las concentraciones de Cd y Pb en el suelo contaminado de las tres especies vegetales emergentes exceden el ECA para suelo agrícola. Por otro lado, se demostró que el Cd presentó la menor concentración en la raíz y el tallo de las tres especies. En el factor de bioconcentración, el Fe indicó ser hiperacumulador, así como el Zn acumulador en un suelo no contaminado; en el factor de translocación *Rumex acetosella* señaló ser fitoextractora de Ca y Mg; y *Bulbostylis juncooides* de Mn. Por último, existe una dependencia recíproca entre el suelo con tallo de 0.921 perteneciente al suelo contaminado; y en el suelo no contaminado, está la raíz y tallo con metales totales en planta con 0.975 y 0.966, de forma respectiva y la raíz con tallo de 0.885.

Palabras clave: metales pesados, pasivo ambiental, *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea*, *Bulbostylis juncooides*, Sinchao, Chugur.

ABSTRACT

The Cajamarca region has a large number of mining environmental liabilities, one of them being the site called Sinchao, located in the district of Chugur, province of Hualgayoc, department of Cajamarca. The purpose of this research work is to determine the bioaccumulation of toxic heavy metals in three emerging plant species (*Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* and *Bulbostylis juncooides*) in the mine waste. The type of research is non-experimental and of cross-sectional design in the correlational-causal classification. It was determined that the concentrations of metals in the contaminated soil exceeded those in the non-contaminated soil for the species *Rumex acetosella* and *Bulbostylis juncooides*, however, in *Gentianella graminea* higher values were obtained for Ca and Fe corresponding to the non-contaminated soil. The concentrations of Cd and Pb in the contaminated soil of the three emerging plant species exceed the ECA for agricultural soil. On the other hand, Cd was shown to have the lowest concentration in the root and stem of the three species. In the bioconcentration factor, Fe indicated to be hyperaccumulator, as well as Zn accumulator in an uncontaminated soil; in the translocation factor *Rumex acetosella* indicated to be phytoextractor of Ca and Mg; and *Bulbostylis juncooides* of Mn. Finally, there is a reciprocal dependence between the soil with stem of 0.921 belonging to the contaminated soil; and in the non-contaminated soil, there is the root and stem with total metals in plant with 0.975 and 0.966, respectively, and the root with stem of 0.885.

Key words: heavy metals, environmental liabilities, *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea*, *Bulbostylis juncooides*, Sinchao, Chugur.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el Perú es reconocido a nivel internacional como uno de los países con importantes reservas mineras, lo cual ha impulsado la producción y exportaciones de Ag, Cu, Zn, Au, entre otros (Castillo et al., 2021). Sin embargo, existen peligros y riesgos asociados a los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), que son aquellas superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, parques de maquinaria o de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, la biodiversidad y el ambiente (Guzmán et al., 2020).

Cabe indicar que, antes de los años 90 no existían normativas que velaran por la protección del ambiente, consecuencia de ello, las empresas no contaban con herramientas de gestión ambiental. Según De Echave (2019), “La región de Cajamarca ocupa el segundo lugar con el mayor número de Pasivos Ambientales Mineros (PAM) a nivel nacional (después de Ancash): son 1 183 pasivos mineros ubicados y la gran mayoría se concentran precisamente en la provincia de Hualgayoc con 1 067 PAM” (p.8). Por lo tanto, esto representa fuentes peligrosas de contaminación para el entorno y es realmente preocupante.

El Sinchao se encuentra ubicado en la parte más alta del distrito de Chugur, donde según estudios realizados en la calidad del agua se encontró Pb, As y Cd en seis (06) quebradas de Chugur: Sinchao, Colorada, San Juan Pampa, Tacamache, Seca y Ramírez Tantahuatay; además, Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) indican suelos contaminados por metales pesados tóxicos, causados por las actividades antropogénicas (Meneses, 2019).

La aplicación de diversos métodos físicos, químicos y biológicos hoy en día, son más recurrentes para el tratamiento de la contaminación por metales pesados; siendo una de ellas la fitorremediación en suelos, que fue introducida en el año 1983 (Chaney, 1983) y ganó aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa “verde”, ya que consiste en la aplicación de plantas para reducir *in situ* o *ex situ* la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos en los suelos, sedimentos, agua y aire. Se ha demostrado que cierto grupo de especies vegetales debido a sus mecanismos fisiológicos, resisten y toleran a concentraciones extremas de metales, tanto en suelos naturales como antropogénicos (Whiting et al., 2004). De esta forma, la restauración sucede de manera más orgánica, menos agresiva y económicamente más eficiente, en comparación con otras técnicas convencionales que pueden llegar a ser destructivas para el sitio y sumamente costosas (Greipsson, 2011).

La importancia de este tipo de especies bioacumuladoras fue reconocida por múltiples investigadores y propusieron la recopilación de información sobre su taxonomía, distribución y ecología, con el propósito de crear una base de datos estandarizada y accesible para la comunidad (Reeves et al., 2017).

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, la pregunta de investigación que resuelve este estudio es: ¿Cuánto es la bioacumulación de metales pesados tóxicos en tres especies vegetales emergentes (*Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncoides*) en los pasivos mineros del Sinchao Cajamarca, 2021 – 2022? Para ello se plantea los siguientes objetivos; comparar la concentración de metales en el suelo contaminado y no contaminado de las tres especies vegetales emergentes con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo DS 011-2017 MINAM; analizar las concentraciones de metales en el tejido vegetal de las tres especies emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado; determinar el factor de

bioacumulación, bioconcentración (BCF) y translocación (FT) de los metales en las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado; y, por último correlacionar las variables del estudio pertenecientes al suelo contaminado y no contaminado.

La hipótesis planteada del estudio es que “Las especies vegetales emergentes *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* bioacumulan metales pesados tóxicos en los pasivos mineros del Sinchao Cajamarca”.

Esta investigación adquiere importancia porque propone a estas tres especies vegetales emergentes: *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* como alternativa para ser aplicadas en técnicas de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados a causa de las actividades mineras, y a la vez este estudio tendrá un alcance social importante, ya que la información será proporcionada a los agricultores y ganaderos de la zona, a fin de evitar la comercialización o el consumo por los seres vivos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Herrera et al. (2017) en su investigación titulada “Transferencia de arsénico en el sistema agua – suelo – maíz de *Zea mays* L. cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile”, determinaron la capacidad de fitoextracción del elemento, por el factor de bioconcentración (FBC) y si hay riesgo en el consumo de granos y hojas, mediante el cálculo del porcentaje del factor de translocación (PFT) en plantas adultas, obtenidas de seis predios del valle de Camiña, integrando la caracterización de aguas y suelos. Las concentraciones en agua alcanzaron $0,41 \pm 0,09$ mg/L; los suelos contaminados presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sitios, precisando tres niveles: 30, 100 y 300 mg/kg. Los valores en hojas y granos fue variable $3,9 \pm 2,0$ y $0,10 \pm 0,14$ mg/kg, respectivamente. No existe relación lineal entre suelo y raíz, ni con las partes aéreas. Las raíces absorben y acumulan arsénico, obteniendo FB de $2,36 \pm 1,10$ (n=30), sin embargo, no ocurre la transferencia de la raíz a la parte aérea, dado que los PFT obtenidos fueron bastante bajos (entre 1,57 a 5,90 % en hojas y 0,02 a 0,11 % en granos), en consecuencia, no hay riesgo en su consumo.

Sabir et al. (2022) en su investigación denominada “Bioacumulación de metales pesados en un sistema suelo-planta proveniente de un vertedero a cielo abierto y los riesgos para la salud asociados a través de múltiples rutas”, revelaron que con base en los valores de factor de translocación (TF) y coeficiente de bioacumulación (BAC), *Alhagi maurorum* Medic., *Astragalus creticus* Lam., *Cichorium intybus* L., *Berberis*

lycium Royle y *Datura stramonium L.* fueron hiperacumuladores para Cr mientras que *Parthenium hysterophorus L.* fue una especie prometedora tanto para Ni como para Cr. De manera similar, los valores de CF para Fe, Ni, Pb y Cr fueron >6 , mostrando así una contaminación muy alta, mientras que los valores de Igeo para Fe, Ni, Pb y Cr fueron (clase 6, >5), mostrando que el suelo estaba extremadamente contaminado. Además, los valores de EF para Fe, Ni, Pb, Cr y Zn fueron $2 < EF \leq 5$, lo que representa un enriquecimiento moderado, mientras que los valores de PERI estuvieron en el rango de 91.31–195.84, empleando riesgos ecológicos moderados ($95 < PERI < 190$) del suelo del vertedero. Además, para la exposición no cancerígena, ninguno de los metales analizados excedió los valores límite umbral de $HRI > 1$ tanto en adultos como en niños. Del mismo modo, en el caso de los efectos cancerígenos, los valores de CRI fueron inferiores a los límites tolerables ($1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-4}$) tanto en adultos como en niños.

Prieto et al. (2010) en su investigación titulada “Bioacumulación de arsénico en las etapas de desarrollo de la cebada maltera (*Hordeum distichon L.*)”, cultivaron la cebada en 25 macetas, cinco por cada uno de cinco ensayos diferenciados, incluyendo controles negativos (suelo y agua no contaminados) y positivos. Se utilizaron cinco semillas por macetas y se evaluó la acumulación de arsénico en cada uno de los órganos: raíz, tallo, hoja, espiga y grano, en cada una de las cinco etapas de desarrollo consideradas: formación del coleóptilo o aparición de la primera hoja; amacollamiento u hojas verdaderas a partir de la axila foliar; etapa de “encañado” o primer nudo separado del suelo donde aparecerán las primeras espigas, espigamiento y llenado de granos. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos: con arsénico, control positivo y control negativo. Se realizaron cinco réplicas por tratamiento. La raíz

presentó la más alta concentración de arsénico acumulada (100 y 300 mg kg^{-1}), seguida por las hojas (80 a 180 mg kg^{-1}) y el tallo (70 a 110 mg kg^{-1}). El nivel de acumulación de arsénico en granos resultó entre 40 - 90 mg kg^{-1} , que, de acuerdo a normas argentinas, pueden considerarse como altamente contaminados. En el índice de bioacumulación (IBA), las hojas presentaron los valores más altos, clasificando como niveles medios (0.1 - 1) para plantas verdes. En el tallo se presentaron los mayores valores de IBA; por lo tanto, este órgano sirvió como indicador específico del cultivo para estimar niveles de contaminación por arsénico.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cercado y Ramos (2021) en su investigación “Estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú”, analizaron 24 especies de plantas emergentes en áreas de influencia minera por encima de los 3000 msnm, enfocado en la acumulación total (raíz, tallo y hojas) de As, Cd y Pb en las especies vegetales reportadas en siete estudios realizados a nivel nacional que cumplieron con siguientes criterios de selección: ser especies altoandinas, presentar la concentración de los tres metales dentro de la investigación y ser especies emergentes en áreas impactadas por actividades mineras o pasivos mineros. Las especies analizadas fueron agrupadas en seis clases, once órdenes y trece familias, siendo la clase más representativa *Magnoliopsida*, el orden más representativo *Poales* y la familia más representativa *Poaceae*. Las especies que más acumularon los tres metales en los siete estudios analizados fueron *Lachemilla procumbens* var. *andina* con 7787.8 mg/kg para el arsénico, *Polytrichum juniperinum* con 3246.7 mg/kg para el plomo y *Lachemilla orbiculata* con 266.2 mg/kg para el cadmio. La familia que presentó un mayor interés

para futuros estudios relacionados a la bioacumulación de As, Cd y Pb fue *Poaceae*. Finalmente, los trabajos realizados en departamento de Cajamarca fueron los que presentaron la mayor concentración de metales pesados en las plantas.

Huaranga et al. (2021) realizaron el trabajo de investigación denominado “Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (Poaceae)”, donde se utilizó suelos contaminados por material de relave que contiene metales pesados, provenientes de la zona de Samne, La Libertad. Para determinar la concentración de los metales pesados Pb y Cd se utilizó la metodología de la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados encontrados, indican que los valores de la concentración de los metales pesados absorbidos Pb y Cd, siguieron la siguiente tendencia: $Pb > Cd$, siendo el Pb, el que presenta mayor nivel de absorción a los 65, 95 y 125 días de experimentación.

Cahuana y Aduvire (2019) en su investigación titulada “Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú”, evaluaron la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de la vegetación acuática (macrófitas), principalmente en especies como: *Anomobryum prostratum*, *Marchantia polymorpha* L. y *Bryofita sp.*, y vegetación terrestre en especies como: *Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp.*, en áreas circundantes a antiguas instalaciones mineras abandonadas. Las actuaciones de remediación de Pasivos Ambientales Mineros en Perú, permite acometer estudios para evaluar el efecto de la bioacumulación de metales en especies macrófitas inducidas por las distintas concentraciones de metales pesados presentes en la columna

de agua, en el caso de la vegetación terrestre se evalúa el efecto bioacumulador de éstas por efecto de los metales presentes en el suelo.

2.1.3. Antecedentes Locales

Izquierdo y López (2020) realizaron una investigación sobre la “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”, determinaron la capacidad fitoextractora de 13 metales pesados en las especies herbáceas con mayor índice de valor de importancia que crecen en el lugar, aplicando el método del m², donde identificaron 42 especies herbáceas en 10 parcelas, analizaron la concentración de metales pesados tanto del suelo contaminado y no contaminado, al igual que en las especies herbáceas a fin de compararlas. Obteniendo que la mayor correlación entre variables fue en *Carex mandoniana* (0.995), seguido de *Equisetum bogotense* (0.975) y *Muehlenbeckia tamnifolia* que presentó una relación inversa negativa. El factor de bioconcentración resultó que las especies herbáceas son excluyentes, no obstante, el factor de translocación mostró que *Equisetum bogotense* y *Carex mandoniana* son fitoestabilizadoras, mientras que *Muehlenbeckia tamnifolia* es hiperacumuladora de metales pesados.

Lezama y Saldaña (2020) en su investigación denominada “Identificación de flora herbácea con mayor valor de importancia y evaluación de su capacidad fitorremediadora en suelos contaminados, Tumbacucho 2018”, analizaron tres muestras de suelo, dos muestras de raíz, dos muestras de tallo de cada especie de mayor valor de importancia, en un área de ochenta metros cuadrados. El factor de bioconcentración (BCF) en la raíz de *Paspalum tuberosum* demostró ser acumuladora de Ag y excluyente

al As, Cu, Pb, Sb, Zn, Al y Fe. *Pennisetum clandestinium* es acumulador de Ag y excluyente al As, Cu, Pb, Sb, Al y Fe. *Trifolium repens* mostró un BCF raíz excluyente a todos los metales. La concentración de metales pesados en la parte aérea del *Paspalum tuberosum*, *Pennisetum clandestinium* y *Trifolium repens* presentó un (BCF) aérea excluyente a todos los metales. El factor de translocación (TF) de metales pesados en *Paspalum tuberosum* y *Pennisetum clandestinium* no trasladan eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta. *Trifolium repens* indicó ser hiperacumulador de Ag, As, Cu y Zn.

Dávila y Walter (2018) en su estudio sobre la “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 – Perú 2017”, realizaron los análisis en cinco especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus* seleccionadas por su alto valor de importancia en la zona. Obtuvieron una base de datos de la zona Las Gradadas, la cual contribuyó como referencia para comparar la acumulación de las plantas tanto en una zona con pasivos y otra zona sin alteraciones. Se identificó que la especie *Paspalum bonplandianum*, acumuló la mayor cantidad de metales pesados (mg/kg), como el Al (2844.6), Hg (0.3), Sb (13), Sn (1.4), Zn (760.2), Cr (3.86) y Ni (3.59). La concentración de metales pesados se da mayormente en la parte de la raíz de todas las especies, a excepción de *Lachemilla orbiculata* donde fue en el tallo. Finalmente, mediante los TF y BCF se estableció que las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y el *Juncus conglomeratus* serían especies fitoextractoras de Mg

y Mn; igualmente, *Lachemilla orbiculata* también sería fitoextractora del Sr y el Zn. Por otro lado, *Calamagrostis tarmensis* podría ser aplicada en técnicas de fitoestabilización para el Ti, así como *Paspalum bonplandianum* para el Sb, Zn y Cr, la especie *Carex pichinchensis* para Zn, la especie *Lachemilla orbiculada* para el Cd y Mn y finalmente el *Juncus conglomeratus* para el Cd, Cr y Zn.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El suelo

El suelo como estructura viva y dinámica, es considerado un soporte universal de todos los seres vivos y es la fuente principal de la materia prima. La contaminación del suelo por elementos tóxicos es uno de los problemas más importantes que existen en el Mundo porque se biodegradan difícilmente, es decir resisten más en el medio ambiente (Rodríguez, 2019).

2.2.2. Contaminación del suelo por minería

La minería daña considerablemente el ambiente; ya que debido a su dispersión del agua y del viento hace que los residuos acumulados dentro de éstos salgan a la superficie, siendo estos residuos los elementos tóxicos o metales pesados. El impacto de la minería en los suelos es la: desertificación, deforestación, erosión, pérdida de suelo y cobertura vegetal, además de la modificación del relieve y grandes impactos en la salud, perdiendo sus propiedades: físicas, químicas y biológicas (Guzmán et al., 2020).

La contaminación del suelo provoca una alteración de la superficie terrestre con sustancias químicas que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y la salud (Juste, 2024). El problema radica en que algunos

contaminantes se acumulan en los suelos y están disponibles para que los vegetales y animales puedan captarlos con los consecuentes efectos tóxicos que ello puede acarrear.

2.2.3. Metales pesados

Son elementos químicos con alta densidad, generalmente tóxicos y no biodegradables, que pueden causar problemas de salud y ambientales, además son difíciles de biodegradar, siendo una gran preocupación mundial, metales como: Cu, Co, Mn, son requeridas, pero en pequeñas cantidades por los organismos, al ser en altas cantidades son nocivos. El Au, Ag, Zn, Cd y entre otros metales son muy peligrosos para el suelo, planta, salud, si la concentración de estos elementos es alta hay mayor riesgo de padecer enfermedades degenerativas como: Cáncer, Alzheimer, Parkinson (Mendoza, 2021).

2.2.4. Relación de las especies vegetales con los metales pesados

Existen especies vegetales que viven en ambientes extremos acumulando y transformando los metales pesados; ya que han desarrollado dos estrategias: excluirlos y bioacumularlos en sus tejidos aéreos. La mayor parte de las especies vegetales que toleran la presencia de metales pesados impiden su entrada por la raíz y su transporte a los tejidos fotosintéticos (Becerril et al., 2007).

En cuanto a las plantas acumuladoras, se sabe que la tolerancia a los metales pesados se basa en múltiples mecanismos como: la unión a la pared celular, el transporte activo de iones hacia la vacuola y la formación de complejos con ácidos orgánicos o péptidos (Gharieb & Gadd, 2004).

2.2.5. Fitotoxicidad

Se refiere al grado de efecto tóxico producido por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa desórdenes fisiológicos en las plantas y provoca alteraciones del aspecto, crecimiento, vigor, desarrollo, productividad y presenta una gran variedad de compuestos químicos como: trazas metálicas, pesticidas, salinidad, fitotoxinas o alelopatía natural entre las plantas y metales pesados como: Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, K, Ca, Mg, Pb, Ni, Zn (Pernía, 2018). Las altas concentraciones de sales minerales en disolución dentro del medio de cultivo pueden tener efectos fitotóxicos, las fuentes de sales minerales excesivas incluyen: la infiltración de agua de mar y la aplicación excesiva de fertilizantes; por ejemplo: la urea se utiliza en la agricultura como fertilizante nitrogenado, pero si se aplica en exceso, se producen efectos fitotóxicos; ya sea por su toxicidad o por el amoníaco producido por hidrólisis contenida en el suelo, los suelos ácidos pueden contener altas concentraciones de Al y Mn que pueden ser fitotóxicos (Pernía, 2018).

2.2.6. Fitorremediación

Se define como una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar, corregir o remediar ambientes contaminados como: agua, suelo, aire y sedimentos (Delgadillo et al., 2011). Lo primero es un proceso de exclusión donde son muy bajos los niveles de metales pesados que entran a la planta y esto es porque a nivel de la raíz se ve una exclusión, es decir que no están activos los canales que permiten el paso al interior de la planta, y lo segundo que afecta a este proceso de exclusión es que una vez que entran algunos metales pesados no son transportados por el xilema, siendo un proceso muy poco eficiente, por ende no se intoxican y así es como adquieren este

mecanismo de supervivencia (Prieto et al., 2009). Lo segundo es un proceso de hiperacumulación el cual se caracteriza una alta absorción de estos metales pesados a nivel de la raíz y una vez que entran por la raíz son rápidamente absorbidos por el xilema hacia las zonas aéreas que son las hojas de esta planta; una vez ahí se produce una gran cantidad de agentes quelantes, los cuales son moléculas químicas que secuestran a estos metales pesados y de esta manera no se vuelve tóxico para la planta (Prieto et al., 2009).

2.2.7. Fitoextracción

Consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, y a la vez ha demostrado ser la más adecuada para los suelos contaminados con metales pesados, en los últimos años en Perú se ha comenzado a evaluar la oportunidad de utilizar especies vegetales nativas para remediación de lugares contaminados por acciones antropogénicas, especialmente en el área de la minería (Huaranga, 2021). Estas plantas deben cumplir con una serie de requisitos: ser tolerantes a las concentraciones, poseer una capacidad alta de producción de biomasa y desarrollar una acumulación efectiva de metales pesados.

Existen plantas de las familias: Asteraceas, Brassicaceae, Lamiaceae, Euphorbiaceae, Scrophulariaceae que son las más adecuadas para la fitoextracción, aunque también se han utilizado algas, helechos y musgos (Huaranga, 2021).

2.2.8. Fitoestabilización

Es una técnica de fitorremediación que utiliza plantas para inmovilizar contaminantes en el suelo, también abarca el uso de acondicionadores de sustratos y especies vegetales nativas para estabilizar relaves mineros abandonados y generar un sistema autosustentable, es el uso de especies vegetales o plantas para remover

contaminantes inorgánicos u orgánicos, los contaminantes son absorbidos por las raíces, donde son acumulados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos e impidiendo que se afecten las aguas subterráneas (Reyna et al., 2022).

2.2.9. Factor de Bioconcentración (BCF)

Es una medida de la capacidad de un organismo para acumular una sustancia química desde el agua o el suelo, asimismo es el proceso por el cual una sustancia alcanza en un organismo una concentración más alta que la que tiene en el ambiente a la que está expuesto, se acumula un químico dentro de un organismo como resultado de procesos de acumulación y eliminación dentro del mismo (Ramirez et al., 2019).

Las actividades humanas son las responsables de la liberación activa de estos metales pesados tóxicos a las especies vegetales. El contaminante tóxico tiene más afinidad con los tejidos de las especies vegetales e ingresa al organismo de la planta por medio del: suelo, raíz, tejidos aéreos de la planta (Gonzáles y Zapata, 2008).

Los valores del BCF mayores a uno ($BCF > 1$) indican que la planta tiene la capacidad de bioacumular los metales pesados en su biomasa (materia orgánica que es utilizada como fuente de energía); mayores a diez ($BCF > 10$) son especies hiperacumuladoras y menores a uno ($BCF < 1$) son exclusoras.

$$BCF = \frac{\text{Concentración de metales en la raíz}}{\text{Concentración de metales en el suelo}}$$

Dónde:

BCF = Factor de bioconcentración.

[Metal] raíz = Concentración de metales en el suelo (mg/kg).

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la raíz de la planta (mg/kg).

2.2.10. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*

Es la medida de la capacidad de un suelo para retener iones con carga positiva (cationes). Es una propiedad fundamental que afecta la fertilidad del suelo, su estructura y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Conocer la CIC de un suelo es fundamental, pues este valor nos indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Además, la CIC afecta directamente la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], s.f.).

2.2.11. *Factor de Translocación (FT)*

Es un indicador que evalúa la capacidad de una planta para transferir un metal de las raíces a las partes aéreas. Por otro lado, los factores de translocación a los diferentes órganos vegetativos se calcularon dividiendo la concentración en el órgano de interés (tallo, hojas, flores, semillas o frutos) entre la concentración en la raíz. Si el $FT > 1$ significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que es usada para la fitoextracción. Si el $FT < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces (Baker y Brooks, 1989).

$$FT = \frac{\text{Concentración de metales en la parte aérea}}{\text{Concentración de metales en la raíz}}$$

Dónde:

FT = Factor de translocación.

[Metal] raíz = Concentración del metal solo en la raíz de la planta (mg/kg).

[Metal] aérea = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta (mg/kg).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Bioacumulación

Es un proceso de depósito gradual y durante un determinado tiempo, de una sustancia química en el organismo de un ser vivo, ya sea porque el producto es absorbido más rápidamente de lo que puede ser utilizado o porque no puede ser metabolizado (Soto, 2020).

2.3.2. Biomagnificación

Es el proceso que ocurre cuando las sustancias contaminantes bioacumulables se van aumentando de manera progresiva a través de la cadena alimenticia hasta llegar a dosis potencialmente nocivas para la salud de cada individuo (Núñez, 2017).

2.3.3. Especies vegetales

Las plantas son seres vivientes: nacen, se alimentan, crecen, respiran, se reproducen, envejecen y mueren, para llevar a cabo estas funciones, la mayoría de las plantas ha desarrollado un organismo compuesto de raíces, tallo y hojas, además, muchas de ellas tienen flores, frutos y semillas (Perales, 2021).

2.3.4. Pasivos Ambientales Mineros

Son instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por la actividad minera antes de la normativa ambiental, y que actualmente se encuentran inactivas o están abandonadas, evidentemente es un riesgo permanente para la salud de las personas y el ambiente (Castillo et al., 2021).

2.3.5. Suelo contaminado

Alteración de las características físicas, químicas o biológicas del suelo debido a la presencia de sustancias contaminantes de origen humano, que pueden representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Romero y Rivera, 2020).

CAPÍTULO III

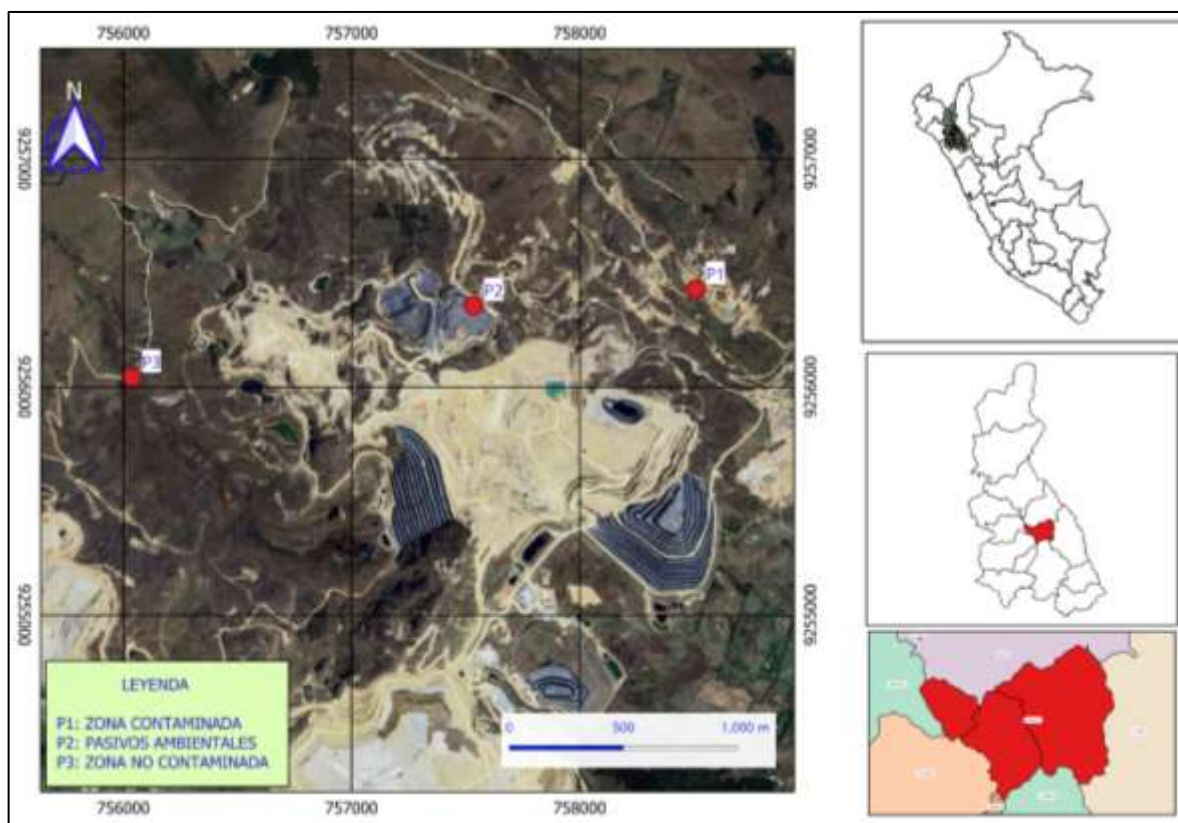
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

El trabajo de investigación se desarrolló en el lugar llamado Sinchao ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, en esta área se determinó las estaciones de monitoreo de las especies vegetales. La figura 1, muestra la zona de estudio.

Figura 1

Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.



3.2. Población, muestra y unidad de análisis

3.2.1. Población

Todos los individuos de las tres especies vegetales *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* de los pasivos mineros del Sinchao.

3.2.2. Muestra

Se utilizó 100 gr tanto de raíz como de tallo de las especies vegetales, cabe indicar, que esta es una muestra compuesta.

3.2.3. Unidad de análisis

Cada una de las especies vegetales del estudio.

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación es no experimental, dado que no se realiza una manipulación deliberada de las especies vegetales, los fenómenos se observan tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos. El diseño del estudio es transversal o transeccional en la clasificación correlacional – causal, debido a que las variables cuentan con un grado de relación, es decir, la concentración de metales pesados en el suelo y las especies vegetales emergentes de los pasivos mineros del Sinchao.

3.4. Materiales, técnicas, instrumentos y métodos

3.4.1. Materiales

3.4.1.1. Protección personal.

Lentes, bloqueador, gorros, guantes anticorte, chaleco y casco de seguridad.

3.4.1.2. Para la obtención de muestras – especies vegetales.

Pico, palana, bolsas ziploc, estacas, tijeras, balanza digital, marcadores de tinta indeleble, lapiceros, cinta masking y bolsas negras.

3.4.1.3. Para la prensa botánica.

Periódicos, planchas de madera, rafia, tijeras y plumones.

3.4.1.4. Para realizar anotaciones.

Libreta de campo, ficha de campo y ficha de registro de datos.

3.4.1.5. Para el levantamiento topográfico del terreno.

GPS (Global Positioning System).

3.4.1.6. Para el análisis de muestras.

Equipos de laboratorio y cadena de custodia de monitoreo de agua.

3.4.2. Técnicas**3.4.2.1. Observación de campo.**

Consistió en la recopilación de información mediante apuntes, resúmenes y fotografías del entorno. El propósito en esta etapa no fue sólo observar, sino analizar cada uno de los aspectos que va a conllevar el trabajo de investigación, es decir, rutas y/o vías de acceso al lugar de estudio, posibles problemas sociales, generación de hipótesis y anotaciones de diferentes tipos, tales como: interpretativas, temáticas o personales.

3.4.2.2. Análisis documental.

Se recolectó datos de fuentes secundarias, como artículos científicos, proyectos de investigación, libros, revistas, bibliografías, etc., para la posterior comprensión del tema y de las variables del estudio, entre ellas: Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014); Guía de inventario de flora y vegetación (MINAM, 2015); Estándares Calidad Ambiental – ECA Suelo (MINAM, 2017).

3.4.3. Instrumentos

- a. Cadena de custodia del Laboratorio de Suelos, Agua y Foliares.
- b. Fichas de recojo de información en campo.

3.5. Procedimiento

El procedimiento de la investigación se dividió en las siguientes fases:

3.5.1. Fase de pre – campo

Antes de la salida al campo se tuvo en cuenta lo siguiente:

- a. Mapeo del área del Sinchao.
- b. Establecimiento de los posibles puntos de monitoreo en planos.
- c. Determinar las rutas de acceso más adecuadas.
- d. Organizar los materiales y equipos de campo necesarios.

3.5.2. Fase de campo

La primera visita al Sinchao, fue con el objetivo de conocer el área de estudio, las rutas de acceso, la accesibilidad y representatividad de los puntos de monitoreo. Teniendo en cuenta ello, se definió tres (P1, P2, P3); la tabla 1 muestra las coordenadas UTM y la altitud (msnm).

Tabla 1

Coordenadas UTM - Puntos de monitoreo

Punto	Este	Norte	Altitud (msnm)
P1	758509	9256428	3820
P2	757536	9257332	3761
P3	756037	9256041	3736

Para mayor detalle, la figura 1 muestra el mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.

En la visita de campo a continuación, se recolectaron muestras de las especies vegetales y del suelo contaminado y no contaminado, colocándolas en bolsas ziploc. Para realizar la clasificación taxonómica según filo, orden, familia, género, se realizó la búsqueda en la página web (World Flora Online [WFO], s.f.). Las tres especies vegetales estudiadas fueron:

Especie *Rumex acetosella* L.

- Reino: Plantae
- Subreino: Pteridobiotina
- Filo: Angiosperms
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Polygonaceae
- Género: *Rumex*

Figura 2

Rumex acetosella.



Especie *Gentianella graminea* (Kunth) Fabris

- Reino: Plantae
- Subreino: Pteridobiotina
- Filo: Angiosperms
- Orden: Gentianales
- Familia: Gentianaceae
- Género: *Gentianella*

Figura 3

Gentianella graminea.



Especie *Bulbostylis juncoides* (Vahl) Kük. ex Herter

- Reino: Plantae
- Subreino: Pteridobiotina
- Filo: Angiosperms
- Orden: Poales

- Familia: Cyperaceae
- Género: *Bulbostylis*

Figura 4

Bulbostylis juncooides.



3.5.3. Fase de herbario

3.5.3.1. Secado y preservación de muestras de especies vegetales.

Para el secado y preservación de las muestras se tuvo que cambiar los periódicos que contenían a cada especie colectada, hasta lograr su secado natural, esto evitó el enmohecimiento de las muestras. Cabe indicar que, cada vez que se hizo el cambio de periódico la muestra se extrajo con mucho cuidado y se arregló correctamente, a fin de que esta no pierda sus características principales.

3.5.3.2. Identificación de las especies vegetales.

La identificación se realizó con el especialista del INIA – Baños del Inca, en especies andinas locales a través del estudio de Espectrofotometría de Absorción Atómica, que es la transformación de iones de las plantas a átomos.

3.5.4. Fase de gabinete

En base a los datos recopilados en las etapas anteriores, se realizó lo siguiente para cada objetivo del estudio:

3.5.4.1. Comparar la concentración de metales en el suelo contaminado y no contaminado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

En el programa Microsoft Excel se elaboró gráficos de barras a fin de distinguir las concentraciones de cada metal en un suelo contaminado y no contaminado; este procedimiento se hizo para cada una de las especies vegetales emergentes. En cuanto a los ECA, se tuvo como referencia el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, y se trabajó un gráfico combinado donde se identificó las concentraciones que superaban dichos estándares.

3.5.4.2. Analizar las concentraciones de metales en el tejido vegetal de las tres especies emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado.

En el programa Microsoft Excel se elaboró gráficos de barras para cada metal; en estos se distinguió las concentraciones entre la raíz y el tallo del suelo contaminado y no contaminado de las especies vegetales.

3.5.4.3. Determinar el factor de bioacumulación, bioconcentración (BCF) y translocación (FT) de los metales en las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado.

Teniendo en cuenta las fórmulas de las bases teóricas (2.2.9 y 2.2.11) y los resultados del laboratorio INACAL, se desarrollaron los cálculos para cada una de las especies vegetales emergentes.

3.5.4.4. Correlacionar las variables del estudio pertenecientes al suelo contaminado y no contaminado.

A fin de hallar la Correlación de Pearson entre todas las variables del estudio (suelo, raíz, tallo, metales totales en planta, factor de bioconcentración y factor de translocación) se utilizó el programa estadístico IBM SPSS.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

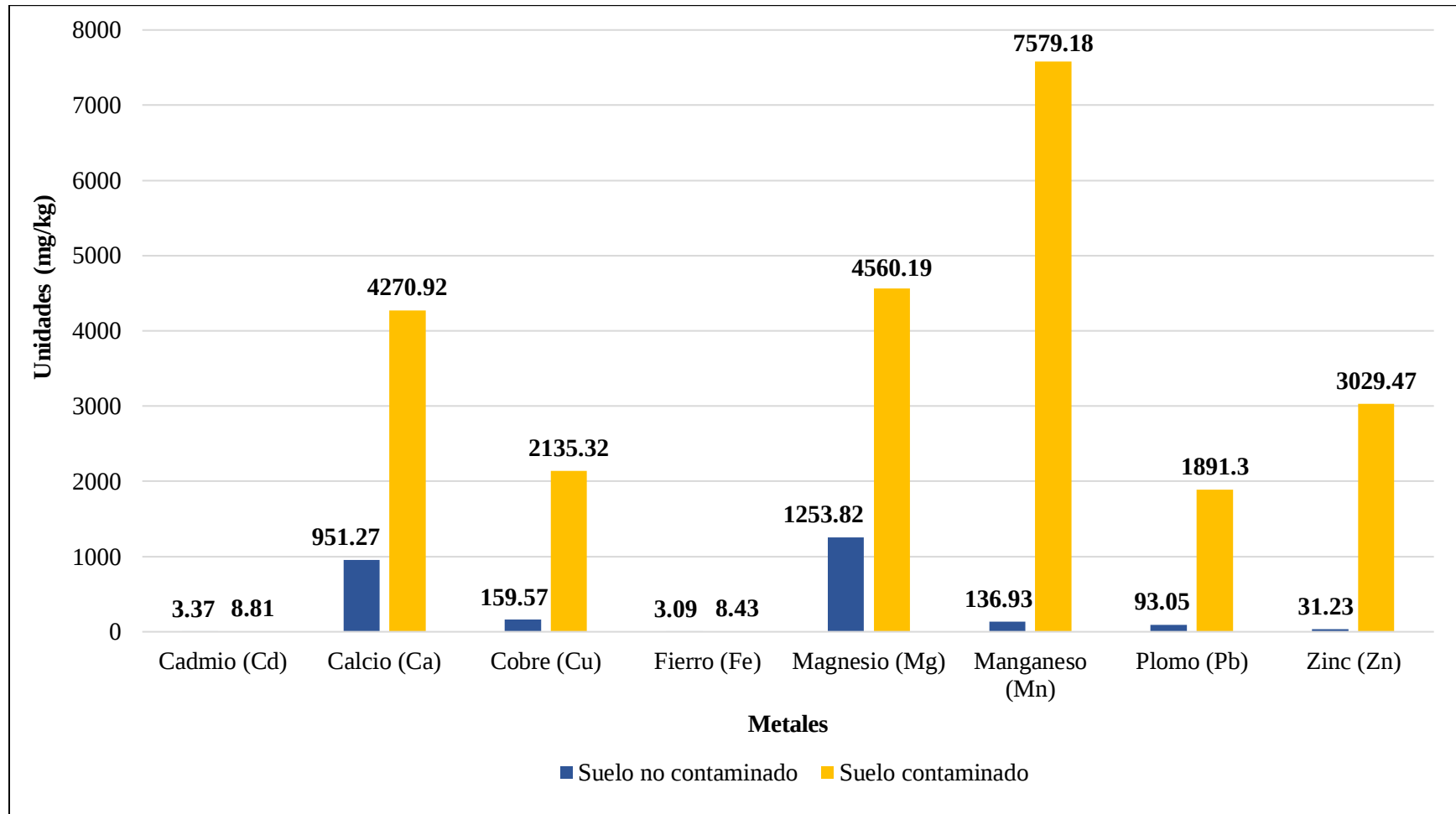
4.1. Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes

En la Figura 5 se puede apreciar que las concentraciones de metales en el suelo contaminado son mayores a las del suelo no contaminado pertenecientes a *Rumex acetosella*, en este caso, el Cd con 8.81 mg/kg sobrepasa a 3.37 mg/kg; el Ca con 4270.92 mg/kg a 951.27 mg/kg; el Cu con 2135.32 mg/kg a 159.57 mg/kg; el Fe con 8.43 mg/kg a 3.09 mg/kg; el Mg con 4560.19 mg/kg a 1253.82 mg/kg; el Mn con 7579.18 mg/kg a 136.93 mg/kg; el Pb con 1891.3 mg/kg a 93.05 mg/kg y el Zn con 3029.47 mg/kg a 31.23 mg/kg.

Además, en el suelo contaminado de la especie *Rumex acetosella*, el metal con mayor concentración fue el Mn, mientras que, el metal que presentó la menor concentración fue el Fe. Según investigaciones precedentes en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, los siguientes metales: Al, Cu, Mn, Zn y Mg obtuvieron elevadas concentraciones (Dávila y Walter, 2018). Por otro parte, en el suelo no contaminado el metal con mayor cantidad fue el Mg, mientras que, el metal que presentó la menor cantidad fue el Fe. Según Hortocampo (2022), “El hierro en la agricultura es un micronutriente esencial para las plantas debido a sus fundamentales funciones en diversos procesos como la actividad enzimática y la síntesis de clorofila” (p.01).

Figura 5

Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Rumex acetosella.



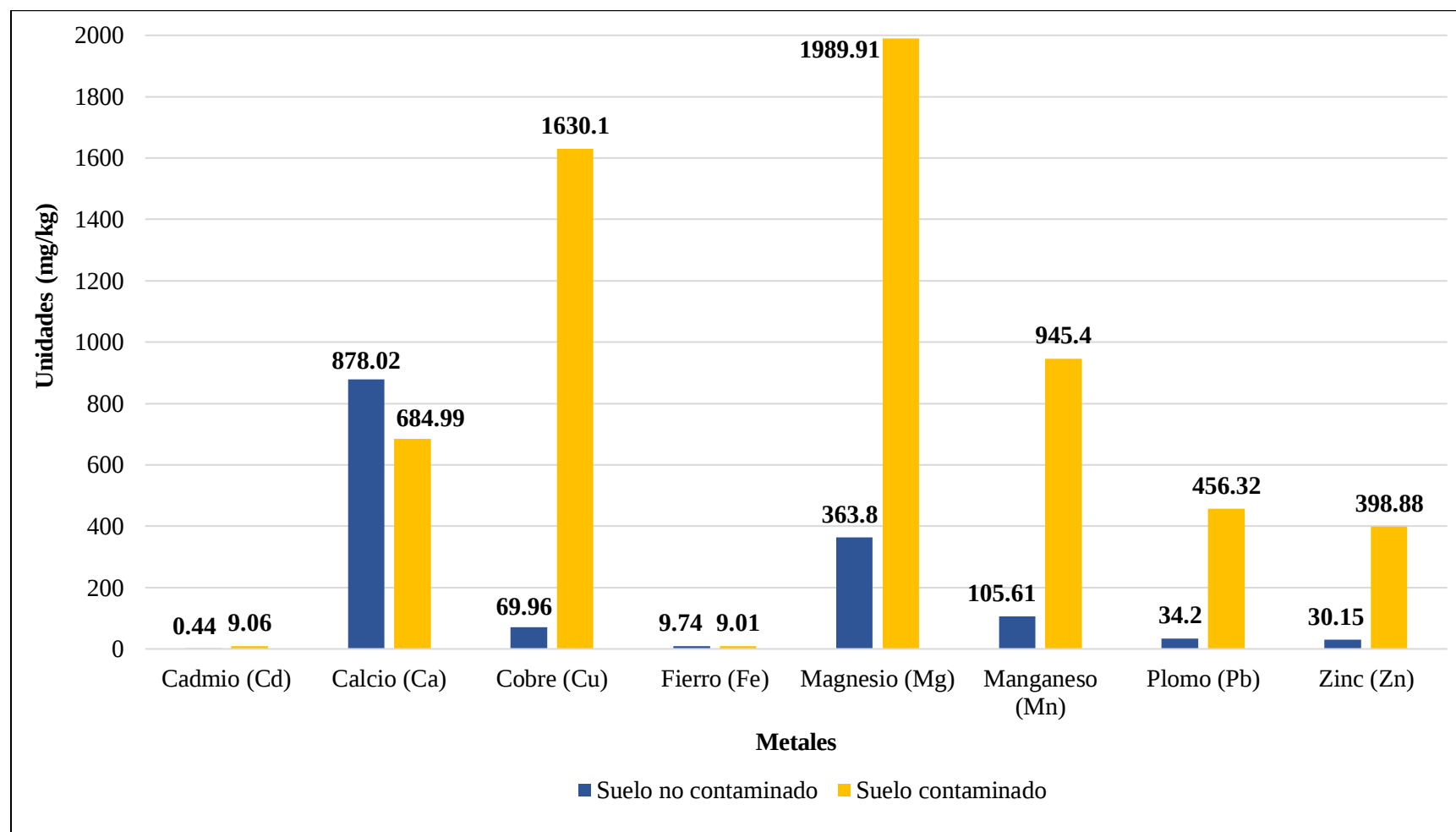
En la Figura 6 se aprecia que las concentraciones de metales del suelo contaminado sobrepasan a las del suelo no contaminado correspondientes a la *Gentianella graminea*, en este caso, el Cd con 9.06 mg/kg es superior a 0.44 mg/kg; el Cu con 1630.1 mg/kg a 69.96 mg/kg; el Mg con 1989.91 mg/kg a 363.8 mg/kg; el Mn con 945.4 mg/kg a 105.61 mg/kg; el Pb con 456.32 mg/kg a 34.2 mg/kg y el Zn con 398.88 mg/kg a 30.15 mg/kg.

Caso contrario ocurre con los siguientes metales; el Ca obtuvo el mayor valor en el suelo no contaminado 878.02 mg/kg a diferencia del suelo contaminado 684.99 mg/kg; del mismo modo el Fe con 9.74 mg/kg a 9.01 mg/kg.

Además, en el suelo contaminado de la especie *Gentianella graminea*, el metal con mayor concentración fue el Mg, mientras que, el metal que presentó la menor concentración fue el Fe. Caso similar, las concentraciones de Mg en los pasivos mineros del Sinchao alcanzaron valores de 548.53 mg/kg (Villanueva y Llican, 2023). En cambio, en el suelo no contaminado el metal con mayor cantidad fue el Ca, mientras que, el metal que mostró la menor cantidad fue el Cd. Asimismo, en suelos, el Cd se presenta en concentraciones de 0,01 a 1 mg/kg con una media mundial de 0,36 mg/kg y este valor puede aumentar debido a las actividades antropogénicas (Kubier et al., 2019).

Figura 6

Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Gentianella graminea.



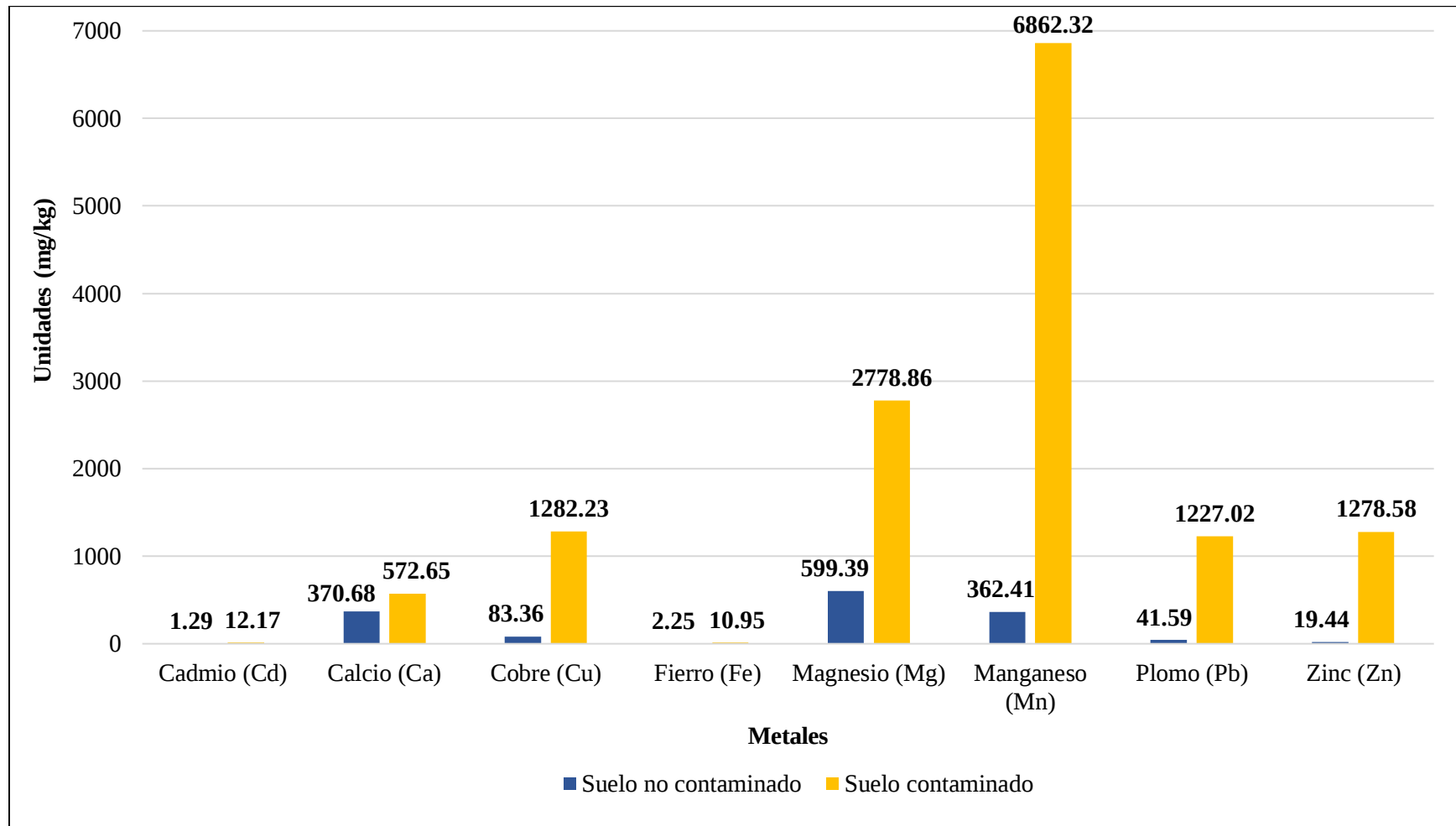
En la Figura 7 se puede apreciar que las concentraciones de metales del suelo contaminado exceden a las del suelo no contaminado referentes a la especie vegetal *Bulbostylis juncooides*, en este caso, el Cd con 12.17 mg/kg es mayor a 1.29 mg/kg; el Ca con 572.65 mg/kg a 370.68 mg/kg; el Cu con 1282.23 mg/kg a 83.36 mg/kg; el Fe con 10.95 mg/kg a 2.25 mg/kg; el Mg con 2778.86 mg/kg a 599.39 mg/kg; el Mn con 6862.32 mg/kg a 362.41 mg/kg; el Pb con 1227.02 mg/kg a 41.59 mg/kg y el Zn con 1278.58 mg/kg a 19.44 mg/kg.

Además, en el suelo contaminado de la especie *Bulbostylis juncooides*, el metal con mayor concentración fue el Mn, mientras que, el metal que presentó la menor concentración fue el Fe. Estos resultados guardan relación con estudios anteriores en la misma área de estudio, ya que el Mn presentó en tres parcelas un promedio global de 1932.71 mg/kg (Villanueva y Llican, 2023).

Por otro parte, en el suelo no contaminado, el metal con mayor cantidad fue el Mg, mientras que, el metal que presentó la menor cantidad fue el Cd. Según Kaiser & Rosen (2024), “El Mg abunda en la corteza terrestre, y se encuentra retenido en la superficie de las partículas de arcilla y materia orgánica; aunque esta forma intercambiable de Mg está disponible para las plantas, este nutriente no se filtra fácilmente del suelo”.

Figura 7

Concentración de metales en el suelo no contaminado y contaminado de Bulbostylis juncoides.

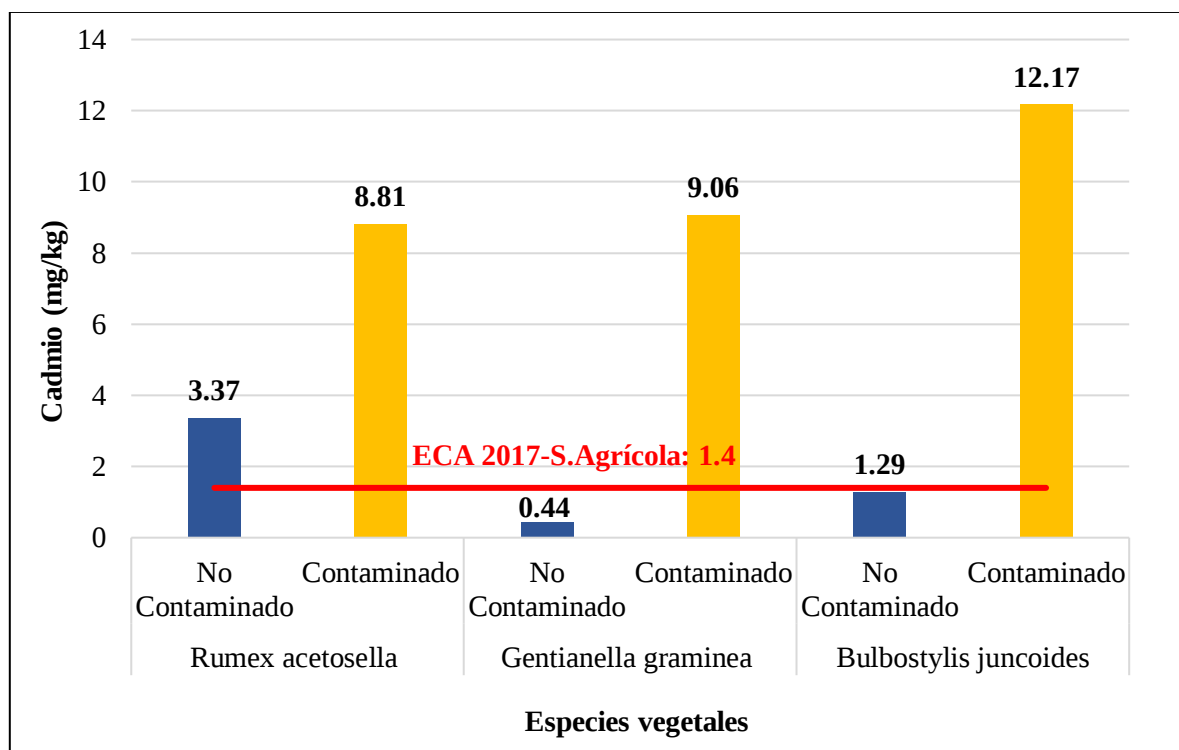


4.2. Comparación de las concentraciones de metales pesados tóxicos del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Tomando como referencia el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM – “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo”, se realizó la interpretación de los siguientes metales pesados tóxicos: Cd y Pb, ya que se encuentran considerados en el anexo de la normativa.

Figura 8

Comparación del Cd del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con el ECA para suelo agrícola.



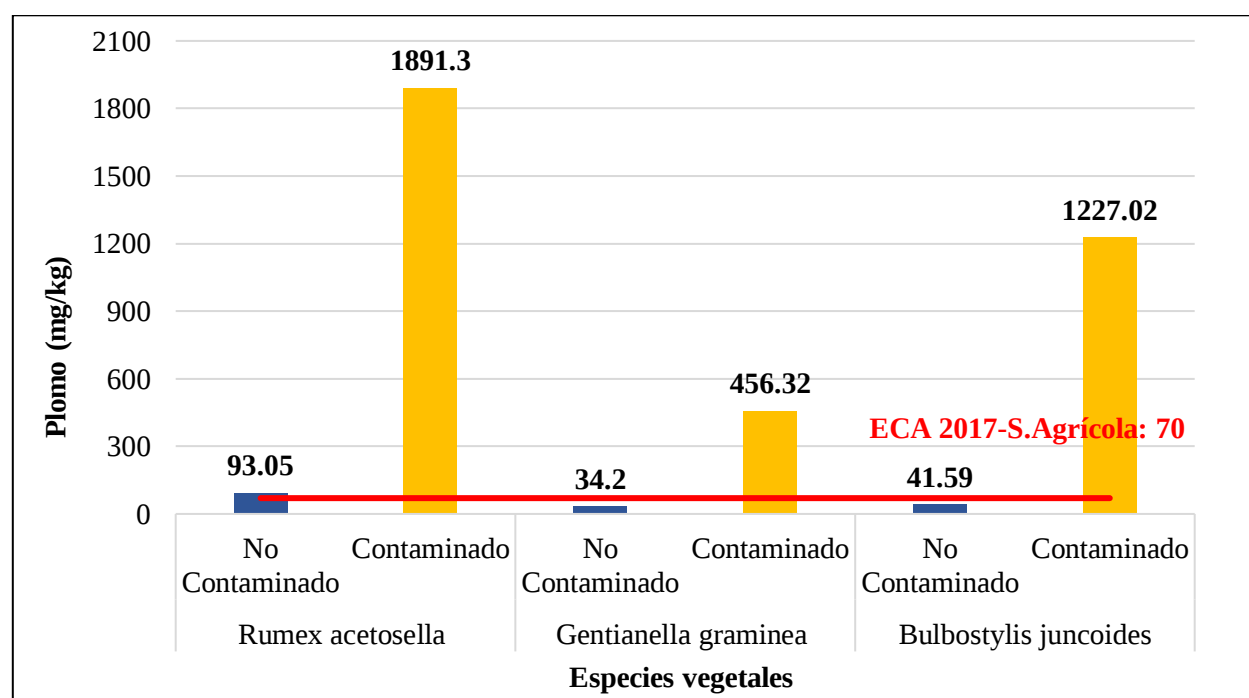
Las concentraciones de Cd entre el suelo contaminado y no contaminado muestran una notoria diferencia, puesto que el área de estudio es un pasivo ambiental.

En la especie vegetal *Rumex acetosella* el suelo no contaminado obtuvo 3.37 mg/kg, mientras que el contaminado 8.81 mg/kg, ambos sobrepasan el ECA para suelo agrícola, el Cd cuyo valor fue de 1.4 mg/kg. Asimismo, *Gentianella graminea* el suelo no contaminado presentó 0.44 mg/kg y el contaminado 9.06 mg/kg, superando este último el ECA. De igual forma, en la especie *Bulbostylis juncooides* el suelo no contaminado tuvo 1.29 mg/kg, en tanto el contaminado 12.17 mg/kg, excediendo este último el ECA.

Según Moreno (2003), “El Cd es uno de los metales pesados con más movilidad ambiental, debido a su relativa solubilidad e hidróxidos, por lo tanto, lo convierte en un contaminante cosmopolita, el pH del suelo cumple un factor importante para que las plantas lo absorban eficientemente” (p.102). En ese sentido, la bioacumulación de este metal puede provocar efectos tóxicos en el ambiente e incluso la salud de las personas.

Figura 9

Comparación del Pb del suelo no contaminado y contaminado de las tres especies vegetales emergentes con el ECA para suelo agrícola.



Las concentraciones de Pb entre el suelo contaminado y no contaminado muestran una notoria diferencia, puesto que el área de estudio es un pasivo ambiental.

En la especie vegetal *Rumex acetosella* el suelo no contaminado obtuvo 93.05 mg/kg, mientras que el contaminado 1891.3 mg/kg, ambos sobrepasan el ECA para suelo agrícola, el Pb cuyo valor es de 70 mg/kg. Asimismo, en la especie *Gentianella graminea* el suelo no contaminado presentó 34.2 mg/kg y el contaminado 456.32 mg/kg, superando este último el ECA. De igual forma, en la especie *Bulbostylis juncoides* el suelo no contaminado tuvo 41.59 mg/kg, en tanto el contaminado 1227.02 mg/kg, excediendo este último el ECA.

Según Moreno (2003), “El Pb se adsorbe fuertemente a los suelos y sedimentos, especialmente a las arcillas, limos y óxidos de Fe y Mn; su biodisponibilidad del Pb para las plantas se ve dificultada por la adsorción de este metal en la matriz del suelo, pero aumenta a medida que disminuye el pH y el contenido en materia orgánica del suelo” (p.111). Por lo tanto, este metal no se degrada fácilmente y es perjudicial para su entorno en general.

4.3. Concentraciones de metales en el tejido vegetal de las tres especies emergentes que se desarrollan en el suelo no contaminado y contaminado

4.3.1. Cd

La Figura 10 muestra las concentraciones de Cd en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. En *Rumex acetosella* se observó que los valores del suelo contaminado de la raíz 4.82 mg/kg y el tallo 7.35 mg/kg son mayores al del suelo no contaminado, que son 1.41 mg/kg y 0.05 mg/kg, respectivamente. Del mismo modo, ocurre con la especie *Bulbostylis juncoides* donde las concentraciones en el suelo contaminado de la raíz 6.58 mg/kg y el tallo 0.22 mg/kg son superiores al del suelo no contaminado, que son 0.94 mg/kg y <0.05

mg/kg, según corresponda. Sin embargo, en *Gentianella graminea* los resultados fueron mínimos <0.05 mg/kg, excepto la raíz del suelo no contaminado que obtuvo 0.19 mg/kg.

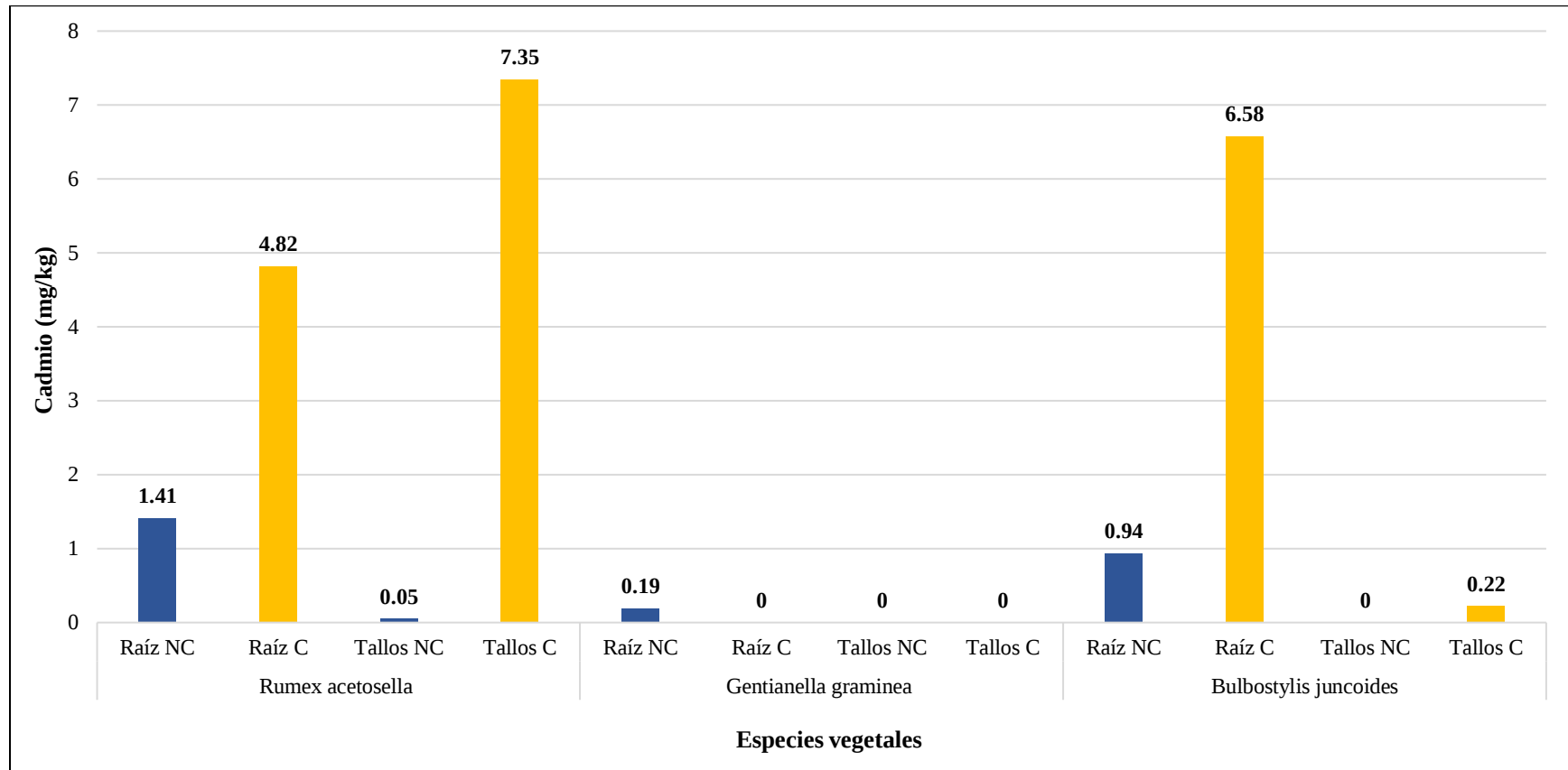
Por otro lado, la especie del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Cd fue *Bulbostylis juncooides* con 6.58 mg/kg; mientras que la especie *Gentianella graminea* la mínima con <0.05 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* mostró el valor superior con 7.35 mg/kg; mientras que la especie *Gentianella graminea* el inferior con <0.05 mg/kg. En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Cd fue *Rumex acetosella* con 1.41 mg/kg; en cambio la especie *Gentianella graminea* la menor con 0.19 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* señaló el valor superior con 0.05 mg/kg; mientras que las especies *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* fueron inferiores con <0.05 mg/kg.

Este metal es absorbido en forma de catión como Cd^{2+} , ya que sus iones quelatos, generalmente, no están disponibles para la absorción por las raíces. La capa de células epidérmicas es el primer tejido para la captación de iones y dentro de ella, los pelos radicales son la zona más activa para absorber iones del suelo y es la estructura que facilita la absorción de Cd^{2+} (Song et al., 2017).

Además, Ortega (2006) analizó las alteraciones fisiológicas por Hg y Cd, en la especie vegetal *Medicago sativa*, y esta provocó: inhibición del crecimiento, formación de peroxidación de lípidos, cambios en las concentraciones de GSH y homoglutation (hGHS), actividad de las enzimas antioxidantes y muerte celular. Es importante añadir que, el Cd puede causar serios problemas a todos los organismos vivos, debido a su alta movilidad y poder bioacumulativo.

Figura 10

Concentración de Cd en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.2. Ca

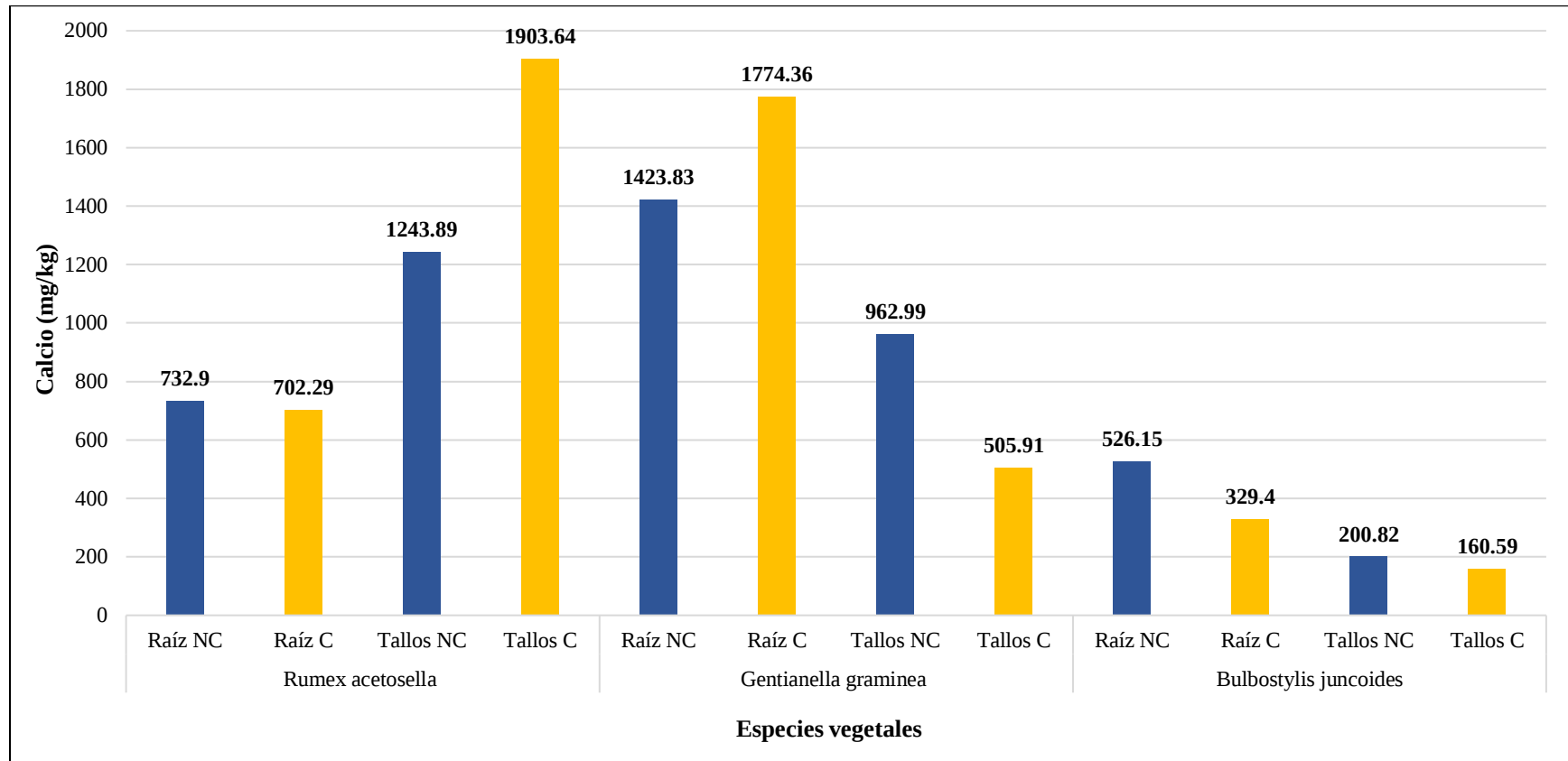
La Figura 11 muestra las concentraciones de Ca en el tallo y raíz de las tres especies emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. En *Rumex acetosella* se observó que este metal se concentró considerablemente en el tallo, caso contrario ocurre con las especies *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* que fue en la raíz. Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Ca fue *Gentianella graminea* con 1774.36 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* la mínima con 329.4 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* mostró el valor superior con 1903.64 mg/kg; mientras que *Bulbostylis juncooides* el inferior con 160.59 mg/kg.

En el suelo no contaminado en la raíz, la especie que indicó la mayor cantidad de Ca fue *Gentianella graminea* con 1423.83 mg/kg; en cambio *Bulbostylis juncooides* la menor con 526.15 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* señaló el valor superior con 1243.89 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 200.82 mg/kg.

Este metal se absorbe en las plantas principalmente como un catión, específicamente como Ca^{2+} , cualquier factor que impida el crecimiento de nuevas raíces, puede inducir la deficiencia de calcio, es decir, aireación pobre, temperaturas bajas, plagas del suelo, etc. (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [Intagri], s.f.). Según Sánchez (2017), “El Ca es fundamental para la permeabilidad de la membrana y la absorción de elementos nutritivos, forma parte de la estructura de las paredes y membranas de las células” (p.3). Por tal razón, es esencial para el desarrollo y crecimiento de las raíces y tallos de las especies vegetales.

Figura 11

Concentración de Ca en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.3. Cu

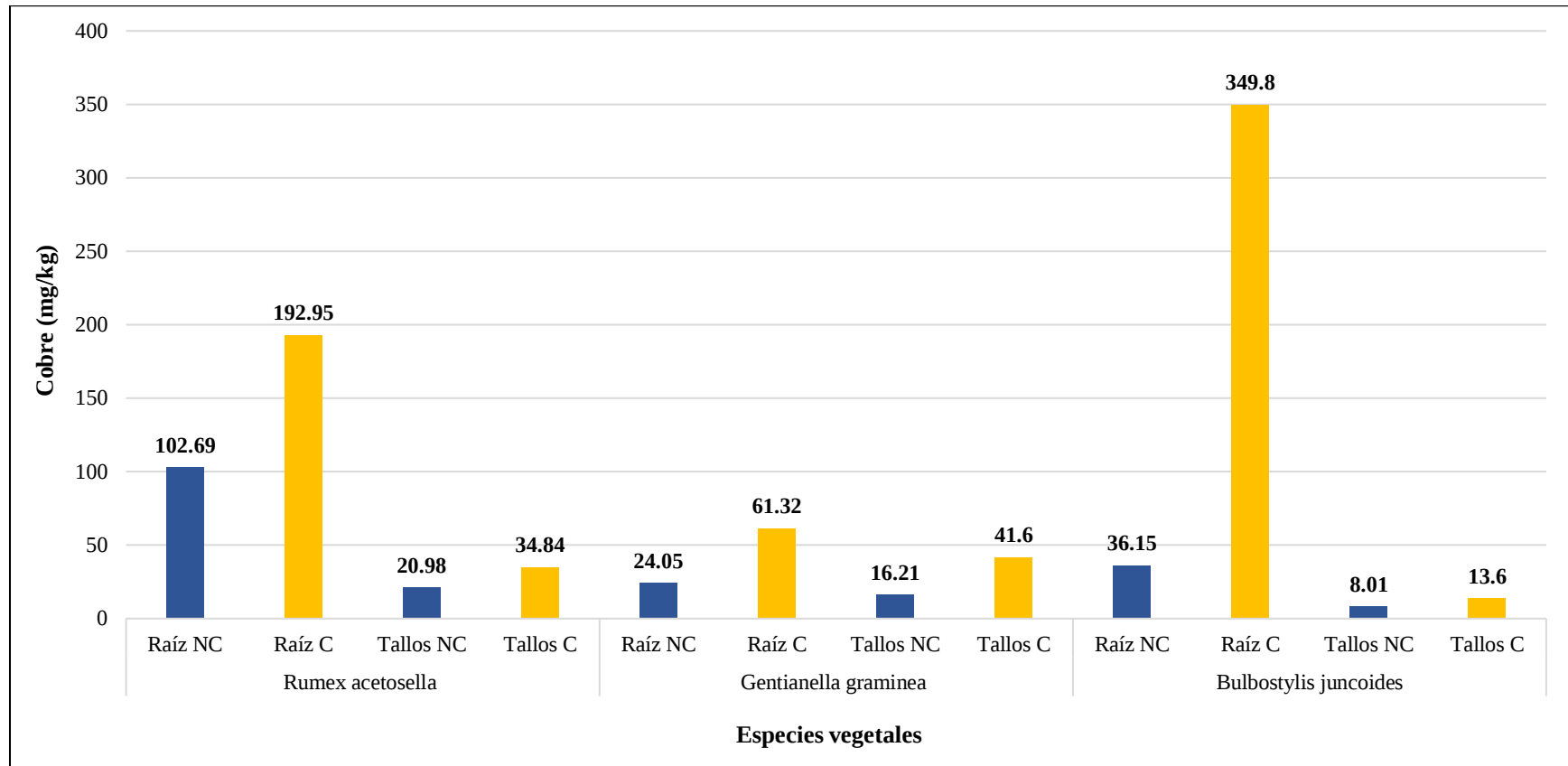
La Figura 12 muestra las concentraciones de Cu en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. En *Rumex acetosella* se observó que los valores del suelo contaminado de la raíz 192.95 mg/kg y el tallo 34.84 mg/kg son mayores al del suelo no contaminado, que son 102.69 mg/kg y 20.98 mg/kg, respectivamente. Del mismo modo, ocurre con la especie *Gentianella graminea* donde las concentraciones en el suelo contaminado de la raíz 61.32 mg/kg y el tallo 41.6 mg/kg son superiores al del suelo no contaminado, que son 24.05 mg/kg y 16.21 mg/kg, correspondientemente. Asimismo, la especie *Bulbostylis juncooides* obtuvo valores del suelo contaminado de la raíz 349.8 mg/kg y el tallo 13.6 mg/kg sobresalientes al del suelo no contaminado, que son 36.15 mg/kg y 8.01 mg/kg, respectivamente.

Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Cu fue *Bulbostylis juncooides* con 349.8 mg/kg; mientras que la especie *Gentianella graminea* la mínima con 61.32 mg/kg. En el caso del tallo, *Gentianella graminea* mostró el valor superior con 41.6 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 13.6 mg/kg. En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Cu fue *Rumex acetosella* con 102.69 mg/kg; en cambio la especie *Gentianella graminea* la menor con 24.05 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* señaló el valor superior con 20.98 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 8.01 mg/kg.

La planta absorbe al Cu del suelo a través de sus raíces en su forma iónica Cu^{2+} o de complejos quelatados, este se transporta por el xilema y el sistema vascular (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [Intagri], s.f.).

Figura 12

Concentración de Cu en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.4. Fe

La Figura 13 muestra las concentraciones de Fe en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. Se observó que este metal se concentró considerablemente en la raíz de las especies *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncoides*, en comparación con los valores del tallo.

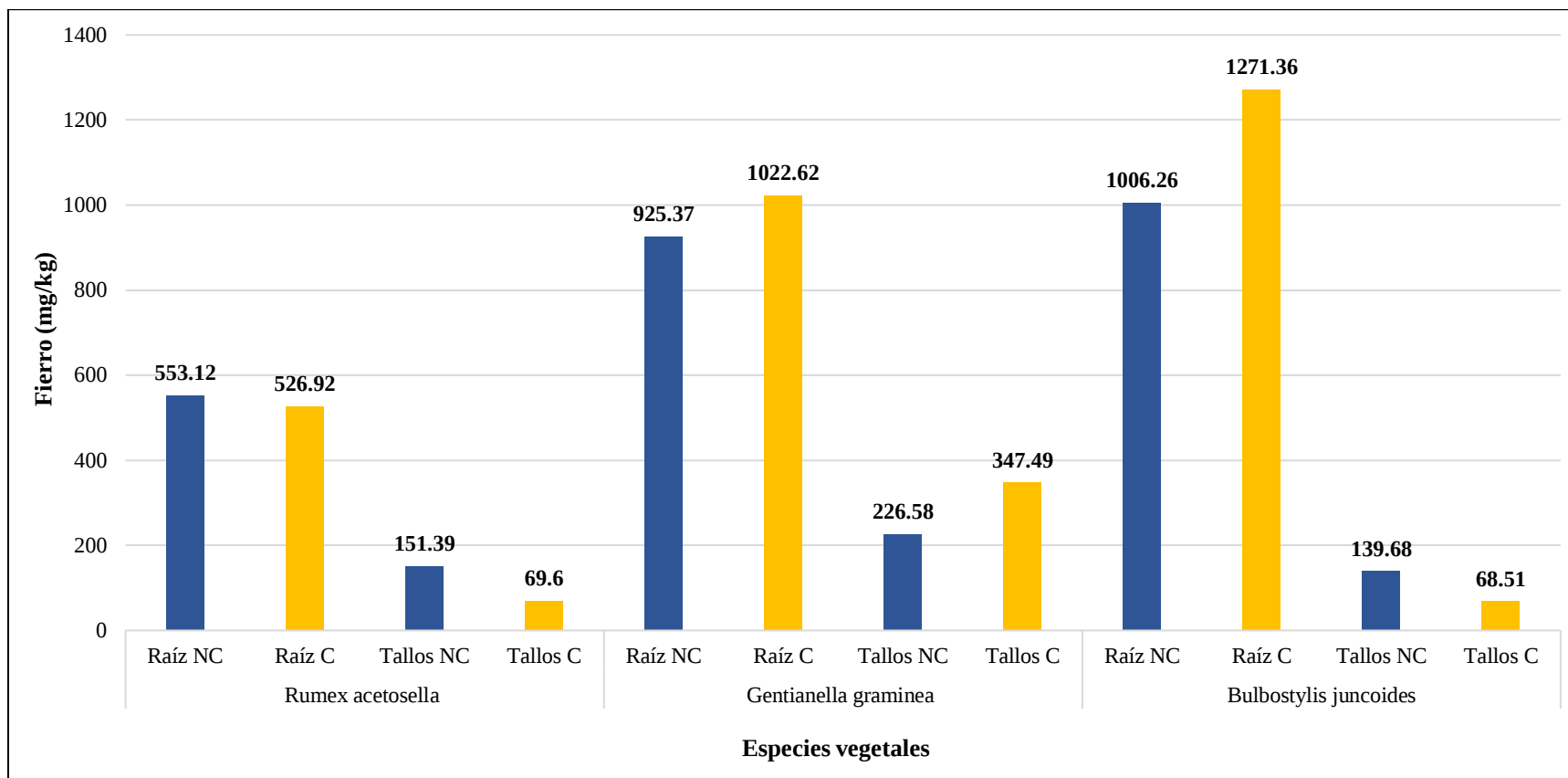
Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Fe fue *Bulbostylis juncoides* con 1271.36 mg/kg; mientras que la especie *Rumex acetosella* la mínima con 526.92 mg/kg. En el caso del tallo, *Gentianella graminea* mostró el valor superior con 347.49 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncoides* el inferior con 68.51 mg/kg.

En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Fe fue *Bulbostylis juncoides* con 1006.26 mg/kg; en cambio la especie *Rumex acetosella* la menor con 553.12 mg/kg. En el caso del tallo, *Gentianella graminea* señaló el valor superior con 226.58 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncoides* el inferior con 139.68 mg/kg.

Correa (1964) investigó el efecto de Fe en el desarrollo de las raíces del cacao, el café y el frijol; y demostró que las hojas acumularon mayores cantidades en comparación con las raíces, además la movilización hacia los demás órganos de la planta fue lenta y en proporción reducida. Cabe indicar que, este metal es pesado y tóxico cuando se encuentran en exceso en los organismos vivos.

Figura 13

Concentración de Fe en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.5. Mg

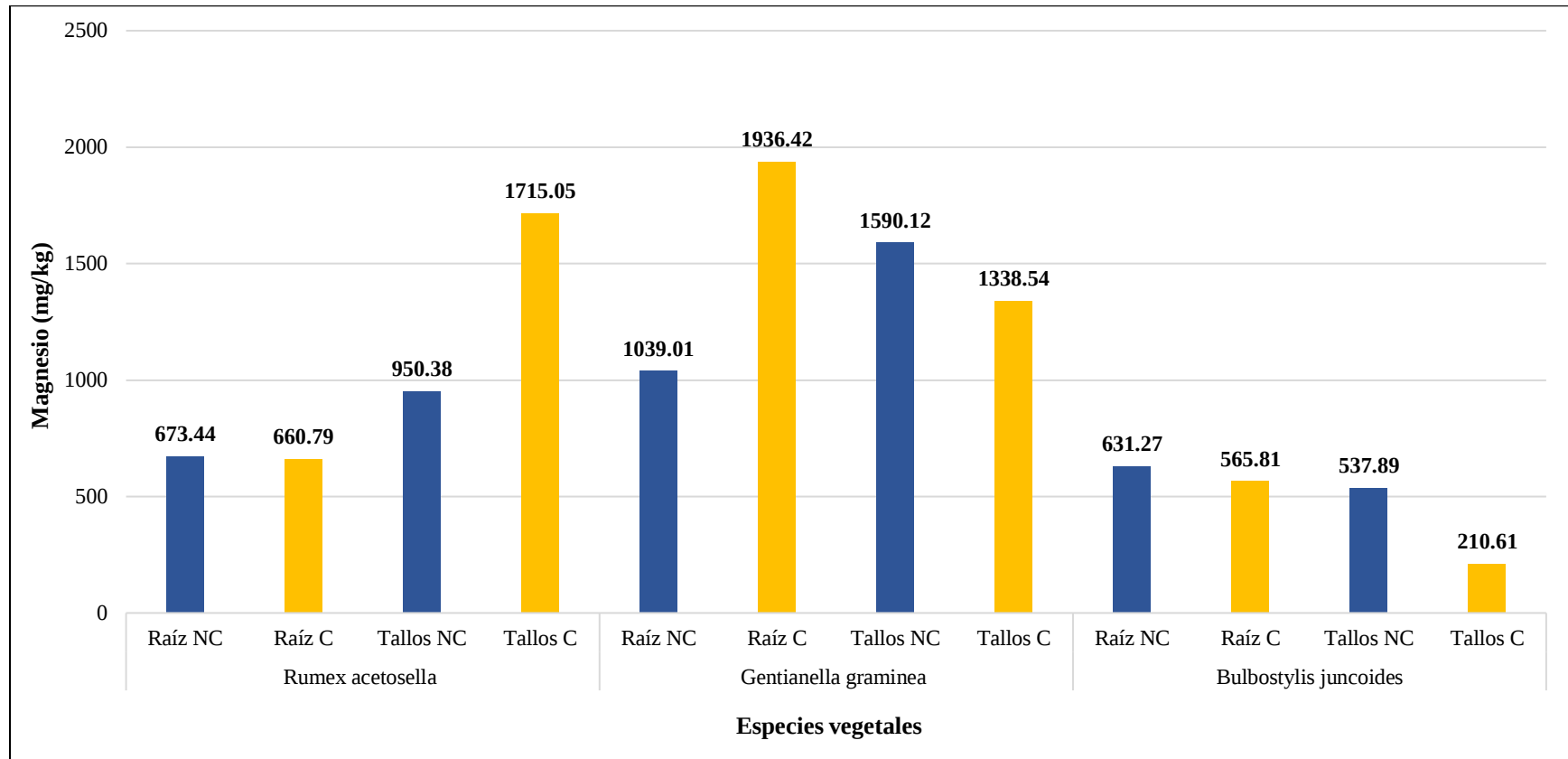
La Figura 14 muestra las concentraciones de Mg en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. Se observó que este metal se concentró considerablemente en el tallo de la especie *Rumex acetosella*, en comparación con los valores de la raíz; caso contrario ocurre con la especie *Bulbostylis juncooides* ya que las concentraciones fueron ligeramente elevadas en la raíz, a diferencia de las del tallo. Se evidenció que la especie *Gentianella graminea* con 1936.42 mg/kg en el suelo contaminado de la raíz estuvo por encima del suelo no contaminado con 1039.01 mg/kg; y el tallo viceversa, puesto que el suelo contaminado con 1338.54 mg/kg estuvo por debajo del suelo no contaminado con 1590.12 mg/kg.

Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Mg fue *Gentianella graminea* con 1936.42 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* la mínima con 565.81 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* mostró el valor superior con 1715.05 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 210.61 mg/kg. En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Mg fue *Gentianella graminea* con 1039.01 mg/kg; en cambio la especie *Bulbostylis juncooides* la menor con 631.27 mg/kg. En el caso del tallo, *Gentianella graminea* señaló el valor superior con 1590.12 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 537.89 mg/kg.

El metal se absorbe mejor en las plantas como catión Mg^{2+} , es decir, en su forma positiva, y se transporta hacia la parte aérea por el xilema junto con el agua y demás sales minerales disueltas, tanto como ion o unido a ácidos orgánicos mediante enlaces complejos (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [Intagri], s.f.).

Figura 14

Concentración de Mg en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.6. Mn

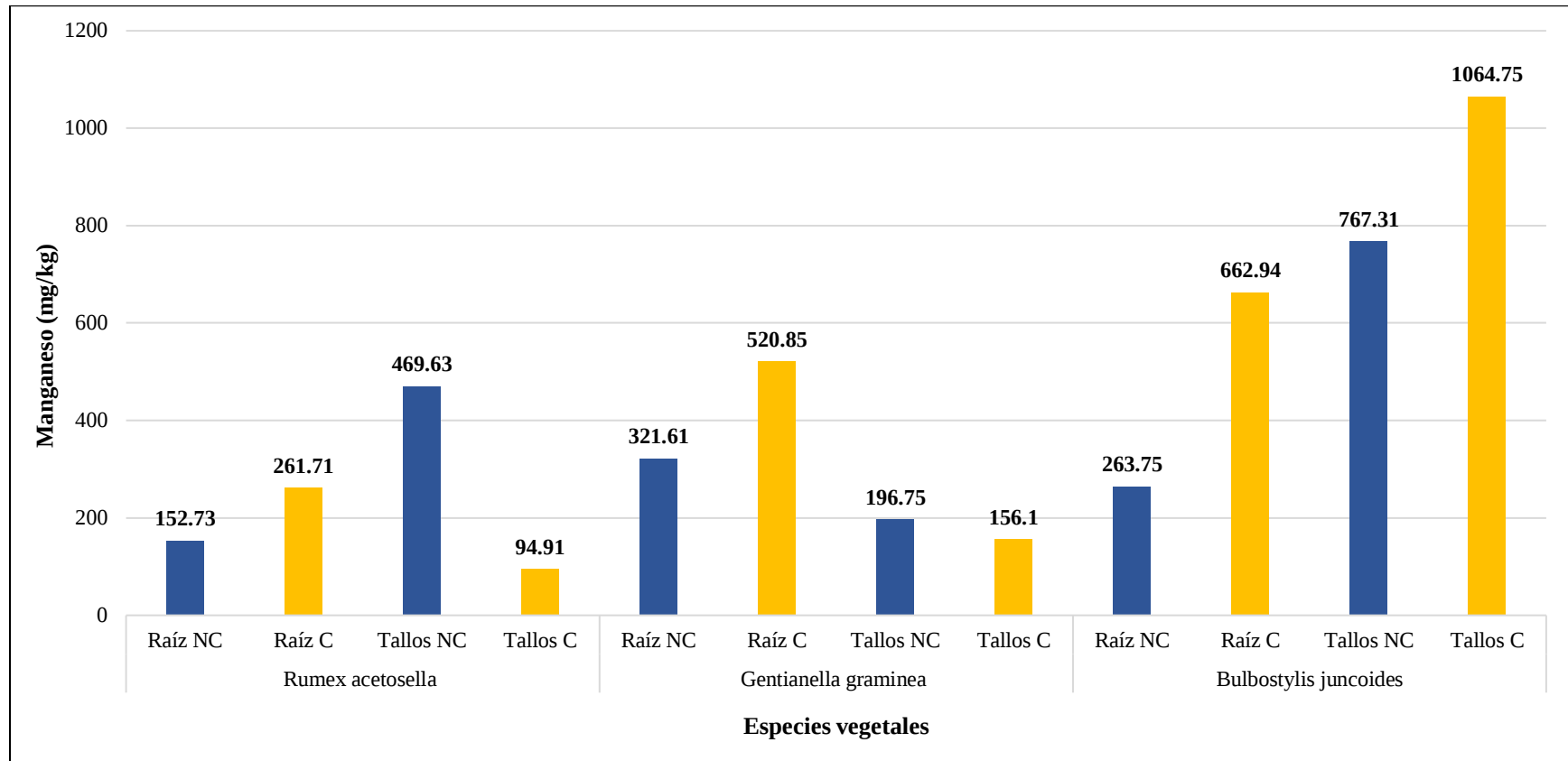
La Figura 15 muestra las concentraciones de Mn en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. Se observó que este metal se concentró considerablemente en el tallo de la especie *Bulbostylis juncooides*, en comparación con los valores de la raíz; caso contrario ocurre con la especie *Gentianella graminea*, ya que las concentraciones fueron elevadas en la raíz, a diferencia de las del tallo. Se evidenció que la especie *Rumex acetosella* con 261.71 mg/kg en el suelo contaminado de la raíz estuvo por encima del suelo no contaminado con 152.73 mg/kg; y el tallo viceversa, puesto que el suelo contaminado con 94.91 mg/kg estuvo por debajo del suelo no contaminado con 469.63 mg/kg.

Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Mn fue *Bulbostylis juncooides* con 662.94 mg/kg; mientras que la especie *Rumex acetosella* la mínima con 261.71 mg/kg. En el caso del tallo, *Bulbostylis juncooides* mostró el valor superior con 1064.75 mg/kg; mientras que la especie *Rumex acetosella* el inferior con 94.91 mg/kg. En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Mn fue *Gentianella graminea* con 321.61 mg/kg; en cambio la especie *Rumex acetosella* la menor con 152.73 mg/kg. En el caso del tallo, *Bulbostylis juncooides* señaló el valor superior con 767.31 mg/kg; mientras que la especie *Gentianella graminea* el inferior con 196.75 mg/kg.

La planta toma al Mn de forma activa por la raíz en forma de Mn^{2+} , aunque también lo puede absorber como quelato, tiene un papel fundamental en la fotosíntesis, respiración, fotólisis del agua, asimilación del dióxido de carbono, reacciones de óxido--reducción, etc. (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [Intagri], s.f.).

Figura 15

Concentración de Mn en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.7. Pb

La Figura 16 muestra las concentraciones de Pb en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. Se observó que este metal se concentró considerablemente en la raíz de las especies *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncoides*, en comparación con los valores del tallo.

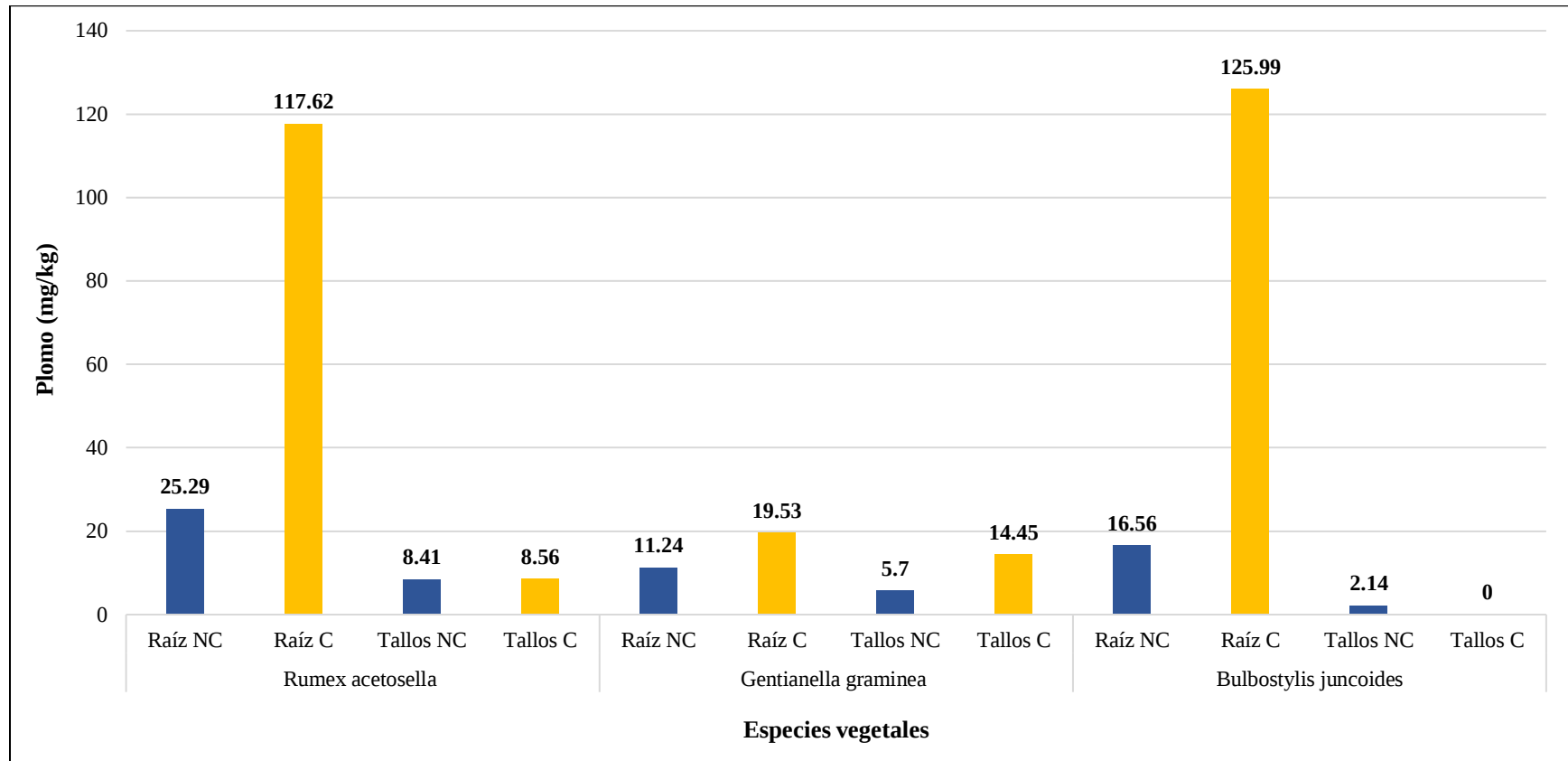
Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Pb fue *Bulbostylis juncoides* con 125.99 mg/kg; mientras que la especie *Gentianella graminea* la mínima con 19.53 mg/kg. En el caso del tallo, *Gentianella graminea* mostró el valor superior con 14.45 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncoides* el inferior con <0.05 mg/kg.

En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Pb fue *Rumex acetosella* con 25.29 mg/kg; en cambio la especie *Gentianella graminea* la menor con 11.24 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* señaló el valor superior con 8.41 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncoides* el inferior con 2.14 mg/kg.

Isaza (2013) investigó el efecto del Pb en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) y *Zea mays* L. (maíz), consecuencia de ello, redujo significativamente el crecimiento de los órganos de raíz, tallo y hojas de las especies vegetales. Esto corrobora las distintas versiones sobre este metal, ya que puede ser tóxico para las células vivas de plantas y humanos.

Figura 16

Concentración de Pb en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.3.8. Zn

La Figura 17 muestra las concentraciones de Zn en el tallo y raíz de las tres especies vegetales emergentes del estudio, tanto para el suelo contaminado y no contaminado. Se observó que este metal se concentró considerablemente en la raíz y el tallo de las especies *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* del suelo contaminado, en comparación con los valores del suelo no contaminado.

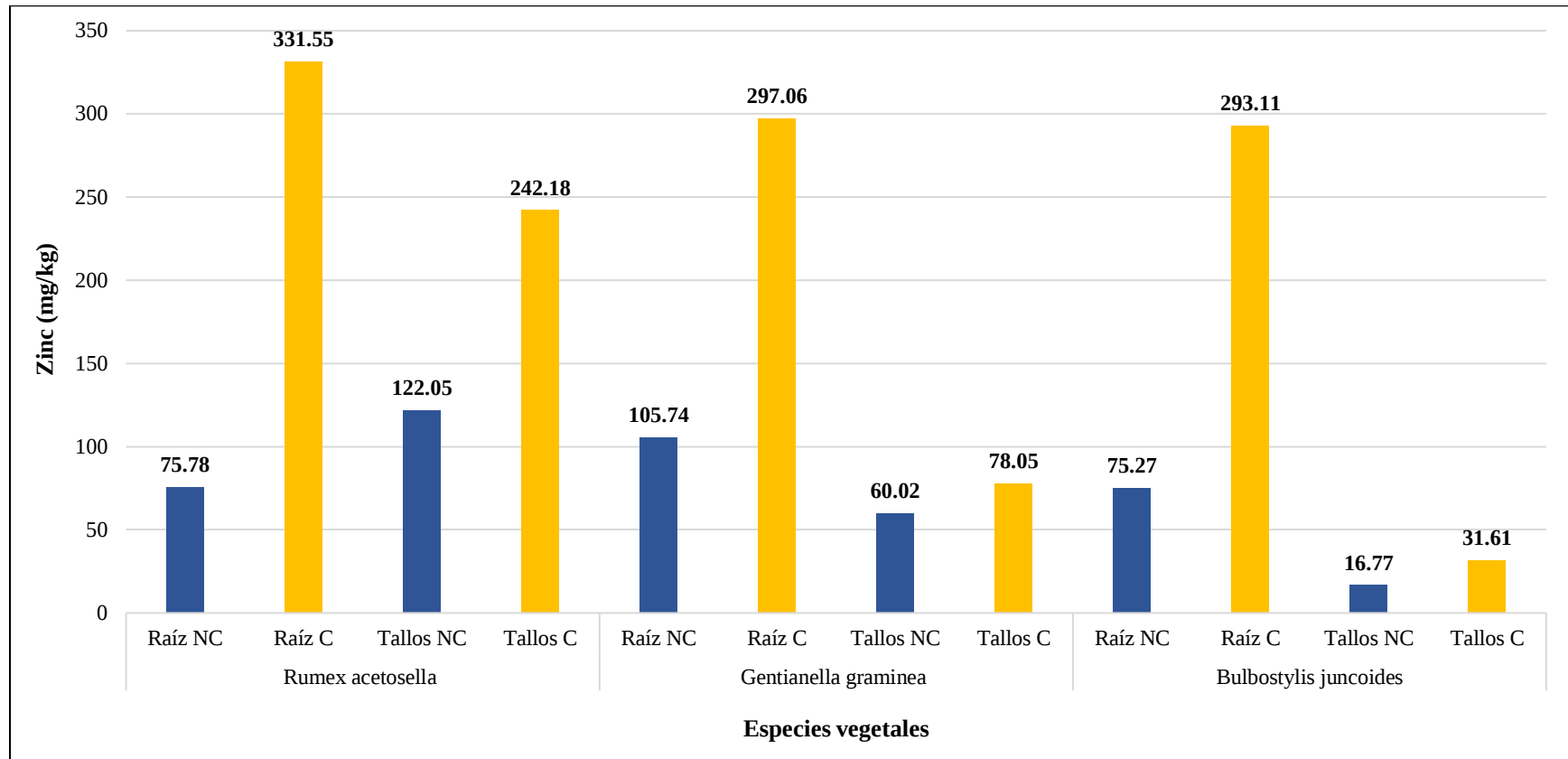
Por otro lado, la especie vegetal del suelo contaminado en la raíz que presentó la mayor cantidad de Zn fue *Rumex acetosella* con 331.55 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* la mínima con 293.11 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* mostró el valor superior con 242.18 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 31.61 mg/kg.

En el suelo no contaminado en la raíz, la especie vegetal que indicó la mayor cantidad de Zn fue *Gentianella graminea* con 105.74 mg/kg; en cambio la especie *Bulbostylis juncooides* la menor con 75.27 mg/kg. En el caso del tallo, *Rumex acetosella* señaló el valor superior con 122.05 mg/kg; mientras que la especie *Bulbostylis juncooides* el inferior con 16.77 mg/kg.

Según Moreno (2003), “La movilidad de este metal aumenta cuando desciende el pH, ya que aumenta su solubilidad y el grado de disociación de los complejos, las plantas no concentran el Zn a niveles superiores a los encontrados en los suelos en que crecen” (p.105). Adicional a ello, este metal contribuye a la creación de clorofila y sustancias de crecimiento de la especie vegetal.

Figura 17

Concentración de Zn en el tejido vegetal de las tres especies emergentes correspondientes al suelo no contaminado y contaminado.



4.4. Factor de Bioacumulación

La Tabla 2 muestra los resultados del factor de bioacumulación de las especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo no contaminado. A partir de ello se identificó que todas las especies bioacumulan en mayor cantidad al Fe, seguido del Zn, las especies *Rumex acetosella* y *Gentianella graminea* el Mn; y esta última especie también el Mg.

Tabla 2

Factor de bioacumulación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncooides</i>
Cd	0.433	ND	ND
Ca	2.078	2.718	1.961
Cu	0.775	0.575	0.530
Fe	227.997	118.270	509.307
Mg	1.295	7.227	1.951
Mn	4.545	4.908	2.845
Pb	0.362	0.495	0.450
Zn	6.335	5.498	4.735

Nota. ND significa no determinado.

La Tabla 3 los resultados del factor de bioacumulación de las especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado. A partir de ello, se identificó que todas las especies bioacumulan significativamente al Fe y la especie *Gentianella graminea* al Ca.

Tabla 3

Factor de bioacumulación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncooides</i>
Cd	1.381	ND	0.559
Ca	0.610	3.329	0.856
Cu	0.107	0.063	0.283
Fe	70.762	152.065	122.363
Mg	0.521	1.646	0.279
Mn	0.047	0.716	0.252
Pb	0.067	0.074	ND
Zn	0.189	0.940	0.254

Nota. ND significa no determinado.

4.5. Factor de Bioconcentración (BCF)

La Tabla 4 muestra los resultados del BCF de las especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo no contaminado. A partir de ello, se identificó que *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* son acumuladoras ($BCF > 1$) de los siguientes metales: Ca, Mg y Zn; la especie *Rumex acetosella* de Mn y Zn y la especie *Gentianella graminea* de Mn. Por otro lado, las tres especies son hiperacumuladoras ($BCF > 10$) del Fe.

Tabla 4

Factor de bioconcentración de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncooides</i>
Cd	0.418	0.432	0.729
Ca	0.770	1.622	1.419
Cu	0.644	0.344	0.434
Fe	179.003	95.007	447.227
Mg	0.537	2.856	1.053
Mn	1.115	3.045	0.728
Pb	0.272	0.329	0.398
Zn	2.427	3.507	3.872

La Tabla 5 muestra los resultados del BCF de las especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado. A partir de ello, se identificó que las especies *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncooides* son hiperacumuladoras ($BCF > 10$) del Fe. Sin embargo, *Gentianella graminea* es acumuladora ($BCF > 1$) del Ca.

Estudios anteriores en el Sinchao, demostraron que las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis* y *Lachemilla orbiculata* son acumuladoras de Mg y Mn (Dávila y Walter, 2018). Mientras que, la especie *Rumex acetosella* resultó ser hiperacumuladora para Ni (Cacho y Tejada, 2024).

Según Alfonso (2020), “La capacidad que poseen las plantas de crecer en suelos mineralizados, pueden utilizarse en proyectos de rehabilitación minera, para la recuperación de la capa vegetal en minas abandonadas” (p.14). Estos datos son relevantes en la investigación, ya que respalda el uso de estas especies en técnicas de fitorremediación.

Tabla 5

Factor de bioconcentración de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncooides</i>
Cd	0.547	ND	0.541
Ca	0.164	2.590	0.575
Cu	0.090	0.038	0.273
Fe	62.505	113.498	116.106
Mg	0.145	0.973	0.204
Mn	0.035	0.551	0.097
Pb	0.062	0.043	0.103
Zn	0.109	0.745	0.229

Nota. ND significa no determinado.

4.6. Factor de Translocación (FT)

La Tabla 6 muestra los resultados del FT de las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo no contaminado. Teniendo en cuenta ello, se identificó que la especie *Rumex acetosella* puede ser usada para la fitoextracción de los siguientes metales: Ca, Mg, Mn y Zn; puesto que sus valores son mayores a uno; asimismo ocurre con la especie *Gentianella graminea* para el Mg; y, por último, con *Bulbostylis juncooides* para el Mn.

Cabe indicar que, aquellos resultados menores a uno ($FT < 1$), indican que la planta no transloca los metales de manera efectiva a sus partes aéreas y tiene potencial para la fitoestabilización.

Tabla 6

Factor de translocación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo no contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncooides</i>
Cd	0.035	ND	ND
Ca	1.697	0.676	0.382
Cu	0.204	0.674	0.222
Fe	0.274	0.245	0.139
Mg	1.411	1.530	0.852
Mn	3.075	0.612	2.909
Pb	0.333	0.507	0.129
Zn	1.611	0.568	0.223

Nota. ND significa no determinado.

La Tabla 7 muestra los resultados del FT de las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado. Teniendo en cuenta ello, se identificó que *Rumex acetosella* puede ser usada para la fitoextracción de los siguientes metales: Cd, Ca y Mg; puesto que sus valores son mayores a uno; en la especie *Bulbostylis juncooides* se encuentran el Mn.

Las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus* pertenecientes a la zona del Sinchao, demostraron ser fitoextractoras para el Mg y Mn (Dávila y Walter, 2018). De igual forma, la especie *Rumex acetosella* evidenció ser fitoextractora para los metales Al, Ba, Cr, Mn, Pb y Zn (Cacho y Tejada, 2024).

Aquellos resultados menores a uno ($FT < 1$), indican que la planta no transloca los metales de manera efectiva a sus partes aéreas y tiene potencial para la fitoestabilización.

Tabla 7

Factor de translocación de metales en las tres especies vegetales emergentes pertenecientes al suelo contaminado

Metales	<i>Rumex acetosella</i>	<i>Gentianella graminea</i>	<i>Bulbostylis juncoides</i>
Cd	1.525	ND	0.033
Ca	2.711	0.285	0.488
Cu	0.181	0.678	0.039
Fe	0.132	0.340	0.054
Mg	2.595	0.691	0.372
Mn	0.363	0.300	1.606
Pb	0.073	0.740	ND
Zn	0.730	0.263	0.108

Nota. ND significa no determinado.

El factor de translocación (FT) es crucial para entender cómo las plantas procesan y transportan metales pesados desde las raíces a las partes aéreas, incluyendo los tejidos comestibles. Su importancia radica en evaluar la capacidad de las plantas para eliminar contaminantes del suelo y evitar que estos metales tóxicos lleguen a los alimentos que consumimos (Brooks, 1998).

4.7. Correlación de las variables del estudio

La Tabla 8 muestra el grado de relación de las variables de estudio correspondientes al suelo no contaminado:

Tabla 8

Matriz de correlación de las variables pertenecientes al suelo no contaminado

		Raíz	Factor de Bioconcentración	Suelo	Tallo	Metales totales en planta	Factor de Translocación
Raíz	Correlación de Pearson	1	,279	,719**	,885**	,966**	,239
	Sig. (bilateral)		,263	,001	,000	,000	,355
	N	18	18	18	17	17	17
Factor de Bioconcentración	Correlación de Pearson	,279	1	-,123	,172	,221	,134
	Sig. (bilateral)	,263		,628	,510	,394	,608
	N	18	18	18	17	17	17
Suelo	Correlación de Pearson	,719**	-,123	1	,772**	,767**	,267
	Sig. (bilateral)	,001	,628		,000	,000	,300
	N	18	18	18	17	17	17
Tallo	Correlación de Pearson	,885**	,172	,772**	1	,975**	,600*
	Sig. (bilateral)	,000	,510	,000		,000	,011
	N	17	17	17	17	17	17
Metales totales en planta	Correlación de Pearson	,966**	,221	,767**	,975**	1	,448
	Sig. (bilateral)	,000	,394	,000	,000		,071
	N	17	17	17	17	17	17
Factor de Translocación	Correlación de Pearson	,239	,134	,267	,600*	,448	1
	Sig. (bilateral)	,355	,608	,300	,011	,071	
	N	17	17	17	17	17	17

Nota. El símbolo ** quiere decir que la correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral) y el símbolo * que la correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Teniendo en cuenta la matriz de correlación de todas las variables involucradas en el suelo no contaminado, se interpretó que, los valores comprendidos entre $0.600 \leq r \leq 0.975$ indican una alta correlación directa positiva entre:

- a. Raíz con suelo.
- b. Raíz con tallo.
- c. Raíz con metales totales en planta.
- d. Tallo con metales totales en planta.
- e. Tallo con factor de translocación.
- f. Suelo con tallo.
- g. Suelo con metales totales en planta.

Esto quiero decir que, existe una dependencia recíproca, mientras una variable aumenta la otra también; teniendo esto sentido, ya que cuando mayor es la concentración de metales en el suelo, la raíz también acumulará mayor cantidad, y, por ende, también el tallo y los metales totales en la especie vegetal.

En el caso del factor de translocación mostró una alta correlación con el tallo, esto indica que si la especie es fitoextractora depende en gran parte de las altas concentraciones de metales presentes en el tallo (parte aérea); no obstante, si la especie es fitoestabilizadora significa que las concentraciones de metales en tallo han sido bajas.

Asimismo, el tallo señaló una alta correlación con los demás órganos; evidenciándose que estas translocan de manera efectiva los metales a sus partes aéreas.

La Tabla 9 muestra el grado de relación de las variables de estudio correspondientes al suelo contaminado:

Tabla 9

Matriz de correlación de las variables pertenecientes al suelo contaminado

		Raíz	Factor de Bioconcentración	Suelo	Tallo	Metales totales en planta	Factor de Translocación
Raíz	Correlación de Pearson	1	,467	,245	,385	-,430	,378
	Sig. (bilateral)		,068	,343	,141	,085	,149
	N	18	16	17	16	17	16
Factor de Bioconcentración	Correlación de Pearson	,467	1	,736**	,942**	,176	,738**
	Sig. (bilateral)	,068		,001	,000	,515	,001
	N	16	16	16	16	16	16
Suelo	Correlación de Pearson	,245	,736**	1	,921**	,539*	,203
	Sig. (bilateral)	,343	,001		,000	,026	,450
	N	17	16	17	16	17	16
Tallo	Correlación de Pearson	,385	,942**	,921**	1	,364	,526*
	Sig. (bilateral)	,141	,000	,000		,166	,036
	N	16	16	16	16	16	16
Metales totales en planta	Correlación de Pearson	-,430	,176	,539*	,364	1	-,102
	Sig. (bilateral)	,085	,515	,026	,166		,707
	N	17	16	17	16	17	16
Factor de Translocación	Correlación de Pearson	,378	,738**	,203	,526*	-,102	1
	Sig. (bilateral)	,149	,001	,450	,036	,707	
	N	16	16	16	16	16	16

Nota. El símbolo ** quiere decir que la correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral) y el símbolo * que la correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En base a la matriz de correlación de las variables concernientes al suelo no contaminado, se interpretó que, los valores comprendidos entre $0.526 \leq r \leq 0.921$ indican una alta correlación directa positiva entre:

- a. Suelo con tallo.
- b. Suelo con metales totales en planta.
- c. Factor de bioconcentración con suelo.
- d. Factor de translocación con tallo.

En este caso, se evidenció una relación significativa entre las concentraciones de metales en el suelo con las concentraciones acumuladas en el tallo y los metales totales en planta, generando una dependencia recíproca, es decir, que siempre estarán en el mismo sentido, directamente proporcionales.

Se infiere que, si la especie es acumuladora, hiperacumuladora o exclusora depende mucho de la concentración de metales en el suelo, del mismo modo, si la especie resulta ser fitoextractora o fitoestabilizadora está en función de la concentración de metales en el tallo.

Por último, la acumulación en el tejido vegetal también depende de la especie, las variedades y órganos de la planta (Zhou et al., 2016), por lo tanto, son muchos los factores como el pH, la concentración iónica de la solución, la concentración catiónica de metal, capacidad de intercambio catiónico, la presencia de cationes metálicos competitivos y ligandos orgánicos e inorgánicos que afectan la bioconcentración de metales en las plantas (Young, 2012).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos específicos, en *Rumex acetosella* todas las concentraciones de metales en el suelo contaminado sobrepasan a las del suelo no contaminado, siendo el Mn con 7579.18 mg/kg quien presentó la mayor cantidad, mientras que el Fe con 3.09 mg/kg obtuvo el menor valor. En *Gentianella graminea* la mayoría de las concentraciones de metales en el suelo contaminado son más elevadas que las del suelo no contaminado, a excepción del Ca y del Fe; además el Mg con 1989.91 mg/kg alcanzó el mayor valor, y el Cd con 0.44 mg/kg la menor cantidad. Por último, en *Bulbostylis juncoides* todas las concentraciones de metales en el suelo contaminado superan a las del suelo no contaminado, a su vez el metal que tuvo la mayor cantidad fue el Mn con 6862.32 mg/kg y el Cd con 1.29 mg/kg el menor valor. Las concentraciones de Cd y Pb en el suelo contaminado y no contaminado de la *Rumex acetosella* sobrepasan el ECA para suelo agrícola, caso contrario ocurre con *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncoides*, ya que las concentraciones en el suelo no contaminado se encuentran por debajo del ECA, mientras que las del suelo contaminado están por encima del ECA.

En la raíz y el tallo de *Rumex acetosella* el Ca presentó la mayor concentración con 732.9 mg/kg en el suelo no contaminado y 1903.64 mg/kg en el suelo contaminado, respectivamente; mientras que el Cd obtuvo la menor concentración con 1.41 mg/kg en el suelo no contaminado y 0.05 mg/kg en el suelo no contaminado, correspondientemente. Ahora bien, en la raíz y el tallo de *Gentianella graminea* el Mg mostró la mayor concentración con 1936.42 mg/kg en el suelo contaminado y 1590.12 mg/kg en el suelo no

contaminado, respectivamente; sin embargo, el Cd tuvo la menor concentración con <0.05 mg/kg en el suelo contaminado y <0.05 mg/kg en el suelo contaminado y no contaminado, según corresponda. Por último, en la raíz y el tallo de *Bulbostylis juncooides* el Cd acumuló la menor concentración con 0.94 mg/kg en el suelo no contaminado y <0.05 mg/kg en el suelo no contaminado, respectivamente; asimismo, el Pb concentró la mínima cantidad en el tallo con <0.05 mg/kg en el suelo contaminado; por otro lado, las mayores concentraciones de la raíz y el tallo fueron el Fe con 1271.36 en el suelo contaminado y el Mn con 1064.75 en el suelo contaminado, respectivamente.

Con respecto, al factor de bioacumulación, el Fe obtuvo la mayor acumulación en las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado. En el factor de bioconcentración (BCF), el Fe indicó ser hiperacumulador en las tres especies vegetales emergentes que se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado, también demostraron ser acumuladores de Zn en un suelo no contaminado. En el factor de translocación (FT), la especie *Rumex acetosella* señaló ser fitoextractora de Ca y Mg; y *Bulbostylis juncooides* de Mn, para ambos casos estos se desarrollan en el suelo contaminado y no contaminado.

Existe una fuerte correlación entre las siguientes variables pertenecientes al suelo contaminado: suelo con tallo de 0.921; y en el suelo no contaminado: raíz y tallo con metales totales en planta con 0.975 y 0.966, de forma respectiva y la raíz con tallo de 0.885; esto quiere decir que, mientras más concentración de metales en una variable, la otra también aumentará o almacenará positivamente, porque dependen proporcionalmente.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda ampliar y profundizar investigaciones en la bioacumulación de metales pesados en otras especies vegetales emergentes, a fin de contar con una data actualizada de la Región de Cajamarca.

Se sugiere tener en cuenta a las especies vegetales emergentes *Rumex acetosella*, *Gentianella graminea* y *Bulbostylis juncoides* en proyectos de fitorremediación, ya que han demostrado ser hiperacumuladores de Fe y acumuladores de Zn, más aún cuando ambos metales pesados son tóxicos para el ambiente.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Alfonso, D., Reyes, R., Rodriguez, D. y Menéndez, E. (2020). Plantas que acumulan metales, su importancia. *Leucocroton havanensis* Borhidi hiperacumuladora de níquel. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 6(2), 7-18.
<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n2.001>
- Baker, A. y Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution, ecology and phytochemistry.
- Becerril, J., Barrutia, O., García, J., Hernández, A., Olano, J. y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas* , 16(2), 1-6.
- Cacho, R. y Tejada, S. (2024). Determinación de la capacidad del Rumex Acetosella en la fitoextracción de metales pesados en los suelos de los pasivos mineros del Sinchao, Perú. [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/36822/Cacho%20Cueva%2C%20Roxana%20Beatriz%20-%20Tejada%20Ayay%2C%20Sabina.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Cahuana, L. y Aduvire, O. (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), 19-36.
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=es&tlng=es)

- Castillo, L., Satalaya, C., Paredes, U., Encalada, M., Zamora, J. y Cuadros, G. (2021). *Pasivos ambientales mineros en el Perú: Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM. Documento de Política en Control Gubernamental*. Contraloría General de la República.
- Cercado, N. y Ramos, F. (2021). *Estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/27615>
- Chaney, R. (1983) Potential effects of waste constituents on the food chain In: Land treatment of hazardous wastes. *Edited by Parr JF, Marsh PD, Kla JM, Park Ridge, NJ: Noyes data corporation: 152-240.*
- Correa, J. (1964). Efecto del Hierro en el Desarrollo de las Raíces de las Plantas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* , 24(61), 27–52. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/35908>
- Dávila, N. y Walter, L. (2018). *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 – Perú 2017* [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/13482>
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es)

De Echave, J. (2019). *Los pasivos mineros de Hualgayoc*. Cooperación Opina. [https://cooperacion.org.pe/opinion/los-pasivos-mineros-de-hualgayoc/#:~:text=Cabe%20se%C3%B1alar%20que%20Cajamarca%20es,de%20Hualgayoc%20\(1%2C067%20PAM\).](https://cooperacion.org.pe/opinion/los-pasivos-mineros-de-hualgayoc/#:~:text=Cabe%20se%C3%B1alar%20que%20Cajamarca%20es,de%20Hualgayoc%20(1%2C067%20PAM).)

Essa, A., Abid, H., Izhar, U., Fahad, K., Shamaila, K., Shaikh, R., Imran, R., Mohammad, I., Kaleem, K., Jawad, S., Ming, C., Lixi, J., Nazim, H. & Peilong, S. (2020). Cadmium phytotoxicity: issues, progress, environmental concerns and future perspectives. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 52(1), 391-405. <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v52n1/v52n1a30.pdf>

Gharieb, M. & Gadd, G. (2004). Role of glutathione in detoxification of metal(loid)s by *Saccharomyces*. *BioMetals*, 183–188.

González, D. y Zapata, O. (2008). Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (82), 53-61. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282008000100005&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282008000100005&lng=es&tlng=es)

Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. *Nature Education Knowledge*, 3(10),7.

Guzmán, F., Arranz, J., Smoll, L., Collahuazo, L., Calderón, E., Otero, O. y Arceo, F. (2020). *Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas*. Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/4453/1/ASGMI-Manual-Inventario-PAM.pdf>

Herrera, V., Carrasco, C., Sandoval, P. y Cortés, C. (2017). Transferencia de arsénico en el sistema aguasuelo-maíz de *Zea Mays* L. cultivados en la quebrada de Camiña, norte de Chile.

- Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(1), 52-64. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000100006&lng=es&tlng=es.
- Hortocampo (2022). El rol del hierro (Fe) en la agricultura. Carencias y soluciones. Soluciones para el mundo agrícola. <https://www.hortocampo.com/blog/el-rol-del-hierro-fe-en-la-agricultura-carencias-y-soluciones>
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Bernui, F., Costilla, N. y Huaranga, F. (2021). Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (*Poaceae*). *Arnaldoa*, 28(1), 149-162. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28109>
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. (s.f.). Nutrición vegetal. <https://www.intagri.com/>
- Isaza, G. (2013). Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Zea mays* L. *Biotecnología Vegetal*, 13(3), 161-167.
- Izquierdo, C. y López, 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 [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/24007>
- Juste, I. (2024). *Contaminación del suelo: causas, consecuencias y soluciones*. Ecología verde. <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>
- Kasier, D. & Rosen, C. (2024). Magnesio para la producción de cultivos. University of Minnesota

- Extension. <https://es.extension.umn.edu/micro-and-secondary-macronutrients/magnesium-crop-production#:~:text=El%20papel%20del%20magnesio%20en,metabolismo%20normal%20de%20una%20planta.>
- Kubier, A., Wilkin, R. & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>.
- Lezama, J. y Saldaña, D. (2020). *Identificación de flora herbácea con mayor valor de importancia y evaluación de su capacidad fitorremediadora en suelos contaminados, Tumbacucho 2018* [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/23854>
- Mendoza, B., Torres, D., Merú, L., Gómez, C., Estanga, M. y García, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *Tecnológicas*, 24(51), 1-12. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- Meneses, A. (2019). *Chugur, el pueblo en emergencia ambiental condenado a otro proyecto minero*. Wayka – Conflictos Sociales, Investigaciones, Salud. <https://wayka.pe/chugur-el-pueblo-en-emergencia-ambiental-condenado-a-otro-proyecto-minero/>
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*. Mavet Impresiones E.I.R.L.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. El Peruano. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>

- Moreno, M. (2003). *Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana*. Antonio García Bage.
- Núñez, D. (2017). *Bioamplificación (I): definición y características*. Emberiza Estudios Ambientales. <https://www.emberizamedioambiente.es/noticia-medio-ambiente/bioamplificacion-i-definicion-y-caracteristicas#:~:text=La%20bioamplificaci%C3%B3n%20o%20biomagnificaci%C3%B3n%20es,de%20contaminante%20procedente%20del%20alimento.>
- Ortega, C. (2006). *Caracterización de respuestas de estrés oxidativo inducidas por Cadmio y Mercurio en plantas. Una metodología de estudio a tiempos cortos* [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma de Madrid. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/2552?show=full>.
- Perales, L., Esquivel, J., Silos, H., Carrillo, J. y Perales, C. (2021). *Tolerancia de plantas de zonas áridas a metales pesados*. Terra Latinoamericana. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.759>
- Pernía, B., Rojas, D., Sena, L., De Sisto, A., Inojosa, Y. y Naranjo, L. (2018). Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en *Lactuca sativa*: una interpretación integral utilizando un índice de toxicidad modificado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 79–91. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.07>
- Prieto, F., Prieto, J., Callejas, J., Román, A. y Méndez, M. (2010). Bioacumulación de arsénico en las etapas de desarrollo de la cebada maltera (*Hordeum distichon* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 37-44.
- Prieto, J., González, C., Román, A. y Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 10(1), 29-44.

- Ramírez, R., García, M., Álvarez, V., González, G. y Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1529-1540.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- Reeves, R., Baker, A., Jaffré, T., Erskine, P., Echevarria, G. & Van, A. (2017). A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytologist*, 218(2), 407-411.
- Reyna, D., Cortés, L., Aquino, G., Martínez, M. y Rodríguez, L. (2022). Estudio del comportamiento de especies vegetales en un proceso de fitoestabilización para remediación de suelo contaminado por jal minero abandonado. *Epistemus*, 16(32).
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.197>
- Rodríguez, N., McLaughlin M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Universidad de Saskatchewan. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>
- Romero, J. y Rivera, A. (2020). La hidrosiembra, técnica de bioingeniería para la restauración de suelos producto de actividades mineras: experiencia en el proyecto minero mirador, Zamora Chinchipe - Ecuador. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 5(1), 11-21.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522020000100002&lang=es
- Sabir, M., Baltrėnaitė-Gedienė, E., Ditta, A., Ullah, H., Kanwal, A., Ullah, S. y Faraj, T.K. (2022). Bioacumulación de metales pesados en un sistema suelo-planta proveniente de un vertedero a cielo abierto y los riesgos para la salud asociados a través de múltiples rutas.

- Sustainability*, 14 (20), 13223. <https://doi.org/10.3390/su142013223>
- Sánchez, I. (2017). *Importancia del Calcio en las plantas*. Arvensis Agro. <https://www.arvensis.com/es/blog-424-2-importancia-calcio-plantas/#:~:text=El%20Ca%20activa%20y%20regula,apicales%20en%20ra%C3%ADces%20y%20brotes.>
- Song, Y., Jin, L. & Wang, X. (2017). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International journal of phytoremediation*, 19(2), 133-41.
- Soto, M., Rodríguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C. y Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n1/2077-9917-agro-11-01-00049.pdf>
- Villanueva, Y. y Llicán, M. (2022). Capacidad fitoextractora de la especie herbácea *Bullbostylis juncooides* en metales pesados del pasivo minero Sinchao, Cajamarca, 2023 [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/38592>
- Whiting, S., Reeves, R., Richards, D., Johson, M., Cooke, J., Malaisse, F., Paton, A., Smith, J., Angle, J., Chaney, R., Ginocchio, R., Jaffré, T., Johns, R., McIntyre, T., Purvis, O., Salt, D., Schat, H., Zhao, F. & Baker, A. (2004). Research Priorities for Conservation of Metallophyte Biodiversity and their Potencial for Restoration and Site Remediation. *Restoration Ecology* 12(1), 101-116.
- Young, S. (2012). *Chemistry of heavy metals and metalloids in soils*. Heavy metals in soils. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-73>

Zhou, H., Yang, W., Zhou, X., Liu, L., Gu, J., Wang, W., Zou, J., Tian, T., Peng, P. & Liao, B. (2016). Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), 289. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030289>

WFO. (s.f.). Plant List. <https://wfoplantlist.org/>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo A. Panel fotográfico

Figura 18

Especie vegetal Rumex acetosella.



Figura 19

Delimitación del área – Rumex acetosella.



Figura 20

Extracción de plantas de Rumex acetosella.



Figura 21

Observación de plantas Gentianella graminea.



Figura 22

Extracción de plantas de Gentianella graminea.



Figura 23

Delimitación del área – Bulbostylis juncooides.



Figura 24

*Extracción de plantas de *Bulbostylis juncooides*.*



Figura 25

Georreferenciación de los puntos de muestreo utilizando el GPS.



Figura 26

Estación experimental INIA – Baños del Inca.



Figura 27

Muestras de las especies vegetales.



Anexo B. Resultados del Análisis del suelo, raíz y tallo



INFORME DE ENSAYO

N° 110867-22/SU/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
Propietario / Productor	: JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
Dirección del cliente	: JR. HUANUCO N° 2333 - CAJAMARCA
Solicitado por	: Cliente
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 05 muestras
Producto declarado	: Suelo Agrícola
Presentación de las muestra(s)	: Bolsas de plástico oscura
Referencia del muestreo	: Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s)	: Sinchao - Chugur - Hualgayoc - Cajamarca
Fecha(s) de muestreo	: 12/10/2022 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 13/10/2022
Lugar de ensayo	: LABSAF Baños del Inca
Fecha(s) de análisis	: 27/10/2022
Cotización del servicio	: 267-23-BI
Fecha de emisión	: 15/11/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1151-EEBI-22	SU1152-EEBI-22	SU1153-EEBI-22	SU1154-EEBI-22	SU1155-EEBI-22	SU1156-EEBI-22
Muestra Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de Muestreo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Hora de inicio de Muestreo (h)	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Buenas condiciones No contaminado	Buenas condiciones No contaminado	Buenas condiciones No contaminado	Buenas condiciones No contaminado	Buenas condiciones No contaminado	Buenas condiciones No contaminado
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	und. pH	0.1	--	--	--	--
Aluminio	mg/100 g	--	--	--	--	--
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	--	--	--	--
Materia Orgánica	%	0.1	--	--	--	--
Nitrógeno	%	--	--	--	--	--
Fósforo	ppm	--	--	--	--	--
Potasio	ppm	--	--	--	--	--
Metales pesados						
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	31.23	3029.47	30.15	398.88
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	159.57	2135.32	69.96	1630.10
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	93.05	1891.30	34.20	456.32
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	3.37	8.81	0.44	9.06
Hierro (Fe)	%	0.05	3.09	8.43	9.74	9.01
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	561.27	4270.02	878.02	684.99
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	1253.82	4560.19	363.80	1989.91
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	136.93	7679.18	105.61	945.40
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	37.42	21.40	49.56	39.35
Potasio (K)	mg/kg	0.05	260.08	1356.65	385.02	876.29

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 8045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.3.26 AS-33 2009. Determinación de aluminio intercambiable en suelo.
Conductividad	ISO 11265, Final Edition, 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.1.9 AS-09 2009. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de dispersión.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.1.7 AS-07 2009. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Nitrógeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.1.8 AS-08 2009. Contenido de Nitrógeno por el método de Kjeldahl.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.1.16 AS-16 2009. Determinación de fósforo.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2009, Segunda Sección (31 de Diciembre 2009), Item 7.2.6 AS-19 2009. Determinación de Potasio.
Metales pesados	EPA Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludge and soils (Rev. 1996)

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresó la Muestra: 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 puede afectar la validez de los resultados
- Mediciones de pH realizadas a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

El presente informe de ensayo ha sido autorizado por: M. Sc. Marista Cervantes Poralla - Responsable del laboratorio del LABSAF Baños del Inca.



Dr. Hector Antonio Cabrera Bugarín
DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF Baños del Inca

Dirección: Jr. Wancos 3-01 Baños del Inca-Cajamarca

Tel: 076-342336

E-mail: labso@bma.gob.pe

Página 1 de 1

P-46 / Ver 03

INFORME DE ENSAYO

N° 110869-22/PX/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
 Propietario / Productor : JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
 Dirección del cliente : JR. HUAYUCO N° 2333 - CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 06 muestras
 Producto declarado : Pastos
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Sincbao - Chugur - Hualgayoc - Cajamarca
 Fecha(s) de muestreo : 12/10/2022 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 13/10/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/10/2022
 Cotización del servicio : 267-22-III
 Fecha de emisión : 15/11/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	PX274-EEBI-22	PX275-EEBI-22	PX276-EEBI-22	PX277-EEBI-22	PX278-EEBI-22	PX279-EEBI-22
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos
Fecha de Muestreo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Hora de Inicio de Muestreo (h)	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Tallo de Rumex acetosella No contaminado	Tallo de Rumex acetosella Contaminado	Tallo de Gentiana graminea No contaminado	Tallo de Gentiana graminea Contaminado	Tallo de Bulbosylis juncoides No contaminado	Tallo de Bulbosylis juncoides Contaminado
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unif. pH	0.1	--	--	--	--
Aluminio	mg/100 g	--	--	--	--	--
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	--	--	--	--
Materia Orgánica	%	0.1	--	--	--	--
Nitrógeno	%	--	--	--	--	--
Fósforo	ppm	--	--	--	--	--
Potasio	ppm	--	--	--	--	--
Metales pesados						
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	122.05	242.18	60.02	78.05
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	20.98	34.84	16.21	41.60
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	8.41	8.86	9.70	14.45
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	0.05	7.35	<0.05	<0.05
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	151.39	69.60	226.58	347.49
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	1243.89	1903.64	962.99	505.91
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	950.38	1715.05	1590.12	1338.54
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	469.63	94.91	196.75	156.10
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	345.82	194.81	273.42	133.64
Potasio (K)	mg/kg	0.05	11875.50	20902.23	9938.77	10229.61

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.3.29 AS-33-2000, Determinación de aluminio intercambiable en suelo.
Conductividad	ISO 11265, First Edition, 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.9 AS-09-2000, Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.7 AS-07-2000, Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Nitrógeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.8 AS-08-2000, Contenido de Nitrógeno por el método de Kjeldahl.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.10 AS-10-2000, Determinación de fósforo.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.2.6 AS-16-2000, Determinación de Potasio.
Metales pesados	NTP 208.030.2015 (Revisada 2021)

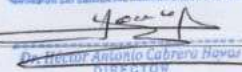
IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresen la Muestra: 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 ítem sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido solo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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




 Dr. Hector Antonio Cabrera Novas
 DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF E.I.A.R.
 Dirección: Jr. Wiraqocha S/N Baños del Inca-Cajamarca
 Telf: 078-246238
 Email: labca@labca.pe

INFORME DE ENSAYO

N° 110872-22/PX/BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
 Propietario / Productor : JUNIOR LUDWIG EDUARDO GONZALES SANCHEZ
 Dirección del cliente : JR. HUANCUCO N° 2333 - CAJAMARCA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 06 muestras
 Producto declarado : Pastos
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Sinchao - Chagur - Hualgayoc - Cajamarca
 Fecha(s) de muestreo : 12/10/2022 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 13/10/2022
 Lugar de ensayo : LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 27/10/2022
 Cotización del servicio : 267.22. BI
 Fecha de emisión : 15/11/2022

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	PX268-EEB-22	PX369-EEB-22	PX270-EEB-22	PX271-EEB-22	PX272-EEB-22	PX273-EEB-22
Matriz Analizada	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos	Pastos
Fecha de Muestreo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Hora de Inicio de Muestreo (h)	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Raz de Rumez acostada No contaminada	Raz de Rumez acostada Contaminada	Raz de Gentianella gramínea No contaminada	Raz de Gentianella gramínea No contaminada	Raz de Substylis juncoides No contaminada	Raz de Substylis juncoides Contaminada
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unif. pH	0.1	—	—	—	—
Aluminio	mg/100 g	—	—	—	—	—
Conductividad eléctrica	mS/m	1.0	—	—	—	—
Materia Orgánica	%	0.1	—	—	—	—
Nitrógeno	%	—	—	—	—	—
Fósforo	ppm	—	—	—	—	—
Potasio	ppm	—	—	—	—	—
Metales pesados						
Zinc (Zn)	mg/kg	0.05	75.78	331.55	105.74	297.06
Cobre (Cu)	mg/kg	0.05	102.69	192.95	24.05	61.33
Plomo (Pb)	mg/kg	0.05	25.29	117.62	11.24	19.53
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.05	1.41	4.82	0.19	<0.05
Hierro (Fe)	mg/kg	0.05	553.12	526.92	925.37	1,022.62
Calcio (Ca)	mg/kg	0.05	732.90	702.29	1,423.83	1,774.36
Magnesio (Mg)	mg/kg	0.05	673.44	660.79	1,039.01	1,936.42
Manganeso (Mn)	mg/kg	0.05	157.73	261.71	321.61	520.85
Sodio (Na)	mg/kg	0.05	258.68	317.36	235.46	1,149.94
Potasio (K)	mg/kg	0.05	8,929.66	14,309.59	4,923.65	6,110.45

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 80450, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Aluminio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.3.26 AS-33-2000. Determinación de aluminio intercambiable en suelo.
Conductividad	ISO 11265, First Edition, 1994. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.9 AS-09-2000. Determinación de la textura del suelo por procedimientos de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7 AS-07-2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Nitrógeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.8 AS-08-2000. Contenido de Nitrógeno por el método de Kjeldahl.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.10 AS-10-2000. Determinación de fósforo.
Potasio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.2.6 AS-16-2000. Determinación de potasio.
Metales pesados	NTP 208.030-2015 (Revisada 2021)

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.
- Método de pH realizado a 25 °C.
- (*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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


Dr. Rector Antonio Cabrera Nolasco
 DIRECTOR

FIN DE INFORME DE ENSAYO

LABSAF EYADI
 Dirección: Jr. Wiscrocha S/N Baños del Inca-Cajamarca
 Tel: 076-883895
 Email: ancca@lmsa.gov.pe