



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
FORESTAL**



**“CAPACIDAD FITORREMIEDIADORA DE PENNISETUM  
CLANDESTINUM Y FESTUCA DOLICHOPHYLLA EN SUELOS  
CONTAMINADOS POR EL PASIVO AMBIENTAL MINERO,  
APLICANDO LOS REGULADORES DE CRECIMIENTO, MAÑAZO  
2023”**

**Bach. OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO**

**Bach. RUT MARIBEL MAMANI MAMANI**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**



**JULIACA - PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**



**“CAPACIDAD FITORREMIADORA DE PENNISETUM  
CLANDESTINUM Y FESTUCA DOLICHOPHYLLA EN SUELOS  
CONTAMINADOS POR EL PASIVO AMBIENTAL MINERO,  
APLICANDO LOS REGULADORES DE CRECIMIENTO, MAÑAZO  
2023”**

**Bach. OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO**

**Bach. RUT MARIBEL MAMANI MAMANI**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**



**JULIACA - PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
Y FORESTAL**



**“CAPACIDAD FITORREMEIADORA DE *PENNISETUM  
CLANDESTINUM* Y *FESTUCA DOLICHOPHYLLA* EN SUELOS  
CONTAMINADOS POR EL PASIVO AMBIENTAL MINERO,  
APLICANDO LOS REGULADORES DE CRECIMIENTO, MAÑAZO  
2023”**

Bach. OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO

Bach. RUT MARIBEL MAMANI MAMANI

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesora: M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca, 2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

Galindo, O. & Mamani R. (2025). *Eficiencia de fitorremediación de pennisetum clandestinum y festuca dolichophylla de suelos contaminados del pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento, Mañazo 2023. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.*

**AUTOR (ES):** Omar Eusebio Galindo Bustincio, Rut Maribel Mamani Mamani

**TÍTULO:** Capacidad fitorremediadora de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento, Mañazo 2023.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2025

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (233 pp.)

**NOTA:** Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

**CÓDIGO:** 01-000064-01/G17

**NOTA:** Incluye bibliografía.

**ASESOR:** M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

**PALABRAS CLAVE:** Bioacumulación, fitorremediación, *Pennisetum clandestinum*, *Festuca dolichophylla*, traslocación.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y FORESTAL  
“CAPACIDAD FITORREMIEDIADORA DE *PENNISETUM  
CLANDESTINUM* Y *FESTUCA DOLICHOPHYLLA* EN SUELOS  
CONTAMINADOS POR PASIVO AMBIENTAL MINERO,  
APLICANDO LOS REGULADORES DE CRECIMIENTO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL  
Y FORESTAL**

**Presentada por:**

Bach. Omar Eusebio Galindo Bustincio

Bach. Rut Maribel Mamani Mamani

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo**

**PRESIDENTE DE JURADO**



**M.Sc. Hugo Apaza Aquino**

**JURADO (Secretario)**



**2° MIEMBRO**

**M.Sc. Jael Calla Calla**

**JURADO (Vocal)**



**3° MIEMBRO**



**ASESOR (A) DE TESIS  
M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**

# OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO RUT MARIB... CAPACIDAD FITORREMIADORA DE PENNISETUM CLANDESTINUM Y FESTUCA DOLICHOPHYLLA EN SUELOS C...

 Universidad Nacional de Juliaca

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:520122585

236 páginas

Fecha de entrega

29 oct 2025, 3:03 p.m. GMT-5

42.911 palabras

Fecha de descarga

29 oct 2025, 3:16 p.m. GMT-5

244.284 caracteres

Nombre del archivo

TESIS OMAR GALINDO 29-10-2025 CORR. (2).pdf

Tamaño del archivo

22.8 MB



Eliana Mullisaca Carberos




# 9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
71 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Eliana Mullisaca Contreras.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Eusebio Galindo y Luciana Bustincio, quienes han sido mi motivo de inspiración, por mostrarme en cada momento su Apoyo incondicional y hacer de mí una persona fuerte, respetuoso y leal; a mis hermanos por motivarme y creer en este proyecto; a mi compañera de toda la vida por su valiosa amistad, ser confidente y cómplice, que siempre me apoya.*

***Omar Eusebio Galindo Bustincio***

*Agradezco a Dios por haberme guiado por un camino correcto, por darme la fuerza necesaria para seguir adelante y no rendirme frente a las dificultades que surgían, enseñándome a enfrentar los problemas con dignidad y sin desfallecer.*

*También agradezco a mis queridos padres, quienes me han dado todo lo que soy como persona: mis valores, principios, carácter, esfuerzo, perseverancia y valentía para alcanzar mis metas.*

***Rut Maribel Mamani Mamani***

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, el divino creador, por cuidarnos y brindarnos la fortaleza necesaria para vencer los desafíos y dificultades que enfrentamos en la vida.*

*A los padres y hermanos, quienes brindaron su apoyo incondicional y motivación, siendo el motor fundamental para lograr concluir satisfactoriamente la carrera universitaria y el desarrollo de esta investigación de tesis.*

*A la asesora, M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras, por ser una guía esencial en esta etapa, por su paciencia, por exigirnos y alentarnos en el proceso de finalización del presente trabajo de investigación, y a los jurados, quienes dedicaron parte de su valioso tiempo a la revisión, corrección y enriquecimiento del contenido con sus conocimientos.*

*A los miembros del jurado, Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo, M.Sc. Hugo Apaza Aquino y M.Sc. Jael Calla Calla, por sus observaciones y sugerencias.*

*A la Universidad Nacional de Juliaca, Facultad de Ingeniería y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, por ofrecernos la oportunidad de acceder a la educación superior y contribuir significativamente a nuestra formación como profesionales.*

***Omar Eusebio Galindo Bustincio***

***Rut Maribel Mamani Mamani***

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	16
ABSTRACT .....	17
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPITULO I.....	20
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	20
1.1. Descripción del problema .....	20
1.2. Formulación del problema de investigación .....	22
1.2.1. Problema general .....	22
1.2.2. Problemas específicos .....	22
1.3. Objetivos de la investigación .....	23
1.3.1. Objetivo general .....	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. Justificación.....	23
CAPITULO II.....	25
REVISIÓN DE LITERATURA .....	25
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	28
2.1.3. Antecedentes locales .....	29
2.2. Marco teórico.....	30

2.2.1. Definición de los reguladores de crecimiento.....	30
2.2.2. Clasificación de los reguladores de crecimiento.....	30
2.2.3. Contaminación de suelos.....	33
2.2.4. Tecnologías para la remediación de suelos contaminados.....	34
2.2.3. Fitorremediación de suelos contaminados .....	36
2.2.4. Especies vegetales remediadoras .....	40
2.2.5. Parámetros fisicoquímicos del suelo.....	43
2.2.6. Pasivo ambiental minero .....	47
2.2.7. Definiciones de términos.....	48
CAPITULO III.....	49
MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1.   Ámbito de estudio .....	49
3.2.   Diseño metodológico .....	50
3.2.1. Tipo y nivel de investigación .....	50
3.2.2. Diseño de investigación.....	50
A. Factores de estudio.....	51
3.3.   Población y muestra .....	52
3.3.1. Población.....	52
3.3.2. Muestra.....	53
3.3.3. Insumos.....	53
3.3.4. Materiales .....	54
3.3.5. Equipos .....	54
3.4.   Hipótesis.....	54
3.4.1. Hipótesis general .....	54
3.4.2. Hipótesis específicas .....	54
3.5.   Metodología .....	55
3.5.1. Evaluar la capacidad de propagación por cultivo in vitro de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> , aplicando los reguladores de crecimiento. ....	56

3.5.2. Determinar la influencia de los reguladores de crecimiento sobre la fisiología vegetal de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en la fitorremediación del suelo contaminado por el pasivo ambiental minero.....	64
3.5.3. Determinar el factor de Traslocación y Bioacumulación de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero. ....	65
3.5.4. Determinar la eficiencia de adsorción de Pb, Cd y As de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	67
3.5.5. Procedimientos de Análisis e Interpretación de Resultados.....	73
CAPITULO IV .....	75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	75
4.1. Evaluación de la capacidad de propagación por cultivo in vitro de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> aplicando los reguladores de crecimiento.....	75
4.1.1. Vigor de sobrevivencia.....	75
4.1.2. Vigor de enraizamiento .....	77
4.1.3. Número de brotes, longitud de raíz y longitud del tallo del cultivo in vitro .....	79
4.2. Determinación de la influencia de los reguladores de crecimiento sobre la fisiología vegetal de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en la fitorremediación del suelo contaminado por el pasivo ambiental minero. ....	97
4.2.1. Altura de la planta de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	98
4.2.2. Cantidad de hojas de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	102
4.2.3. Tamaño de la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	105
4.2.4. Determinación de Porcentaje de humedad de la planta y suelo .....	108
4.3. Factor de Traslocación y Bioacumulación de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero	109
4.3.1. Factor de traslocación de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	109
4.3.2. Factor de traslocación de <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	113
4.3.3. Factor de bioacumulación de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	119

4.3.4. Factor de bioacumulación de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	129
4.4. Determinación la concentración de pb, cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	140
4.4.1. Parámetros físicos de suelo .....	140
4.4.2. Textura del suelo .....	141
4.4.3. Granulometría del suelo .....	144
4.4.4. Parámetros químicos del suelo .....	146
CAPITULO V.....	153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	153
5.1. Conclusiones.....	153
5.2. Recomendaciones .....	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	155
ANEXOS .....	175

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Jerarquía taxonómica de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	41
Tabla 2 Jerarquía taxonómica de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	43
Tabla 3 Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentos .....	45
Tabla 4 Contenidos máximos de metales según D.C. 747/2001. ....	46
Tabla 5 Especies herbáceas.....	51
Tabla 6 Dosis de aplicación de los reguladores de crecimiento .....	51
Tabla 7 Tratamientos de las aplicaciones de reguladores de crecimiento vegetal.....	52
Tabla 8 Propagación por cultivo in vitro.....	63
Tabla 9 Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos .....	67
Tabla 10 Vigor de sobrevivencia de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> ...	75
Tabla 11 Vigor de enraizamiento (VE) de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	77
Tabla 12 Número de brotes, longitud de raíz y longitud del tallo del cultivo in vitro.....	79
Tabla 13 Análisis de varianza de tallo .....	81
Tabla 14 Análisis de varianza de brotes de la especie <i>Festuca dolichophylla</i> .....	83
Tabla 15 Análisis de varianza de longitud de raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	86
Tabla 16 Análisis de varianza de brotes de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	89
Tabla 17 Análisis de varianza, longitud de raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	92
Tabla 18 Análisis de varianza de tallo, <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	95
Tabla 19 Altura de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	98
Tabla 20 Análisis de varianza de altura .....	99
Tabla 21 Medias, desv. est, IC, de la altura de la planta cada 15 días. ....	100
Tabla 22 Cantidad de hojas de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	102
Tabla 23 Análisis de varianza de cantidad de hojas. ....	103
Tabla 24 Media, desv. est, IC, de la cantidad de hojas cada 15 días. ....	103
Tabla 25 Tamaño de la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	105
Tabla 26 Análisis de varianza tamaño de raíz de las especies de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	106
Tabla 27 Media, desv. est, IC, de tamaño de raíz cada 30 días. ....	107
Tabla 28 Porcentaje de humedad de la planta y suelo. ....	108
Tabla 29 Factor de Traslocación de <i>Pennisetum Clandestinum</i> .....	109
Tabla 30 Tabla ANOVA de factor de traslocación en <i>Pennisetum Clandestinum</i> . ....	110

Tabla 31	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de traslocación en <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	110
Tabla 32	Tabla de resultados de factor de traslocación de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	113
Tabla 33	Tabla ANOVA de factor de traslocación en <i>Festuca dolichophylla</i> .....	114
Tabla 34	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de traslocación en <i>Festuca dolichophylla</i> .....	115
Tabla 35	Tabla de resultados de factor de bioacumulación en la parte aérea (tallo y hojas) en <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	119
Tabla 36	Tabla de ANOVA de bioacumulación de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	120
Tabla 37	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	121
Tabla 38	Tabla de resultados de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	124
Tabla 39	Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	125
Tabla 40	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> .....	126
Tabla 41	Resultados de factor de bioacumulación en la parte aérea (tallo y hojas) de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	129
Tabla 42	Tabla de ANOVA de factor de bioacumulación de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	129
Tabla 43	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la parte aérea de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	130
Tabla 44	Resultados de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	133
Tabla 45	Tabla de ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	134
Tabla 46	Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	134
Tabla 47	Resultados de las características físicas del suelo.....	140
Tabla 48	Densidad hidrométrica corregida del suelo de control.....	141
Tabla 49	Cálculo de textura de suelo de control.....	142
Tabla 50	Densidad hidrométrica corregida de suelo tratado.....	142
Tabla 51	Cálculo de textura de suelo tratado.....	142
Tabla 52	Análisis granulométrico de suelo por tamizado.....	144
Tabla 53	Resultado de los parámetros químicos del suelo.....	146

Tabla 54 Información del factor. ....	147
Tabla 55 Tabla ANOVA de los parámetros químicos de suelo de cada tratamiento. ....	147
Tabla 56 Tabla de media ajustada de los parámetros químicos del suelo y tratamientos. .	148
Tabla 57 Resultados de extracción de los metales del suelo con las especies de <i>Festuca Dolichophylla</i> y <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Técnica de eliminación de metales pesados. ....	33
Figura 2. Métodos físicos, químicos y biológicos empleados para la remediación de relaves mineros.....	36
Figura 3. Tecnologías de fitorremediación.....	37
Figura 4. Tecnología de remediación.....	38
Figura 5. Mapa de ubicación del laboratorio (ArcGIS 10.5). ....	49
Figura 6. Mapa de ubicación de muestreo de especies de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	57
Figura 7. Proceso de cultivo in vitro. ....	60
Figura 8. Mapa de ubicación de pasivo Ambiental minero. Tomado de Google Earth.....	62
Figura 9. Diagrama textural de la USDA. ....	69
Figura 10. Flujograma de cultivo in vitro. ....	70
Figura 11. Flujograma de procesos de determinación de la fisiología vegetal. ....	71
Figura 12. Flujograma para determinar los parámetros fisicoquímicos.....	72
Figura 13. Longitud de tallo de acuerdo al tratamiento. ....	82
Figura 14. Diagrama de pareto de variación de longitud tallo.....	83
Figura 15. Número de brotes de <i>Festuca dolichophylla</i> según los tratamientos aplicados. ....	84
Figura 16. Diagrama de pareto de numero de brotes de la especie <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	86
Figura 17. Longitud de raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> según los tratamientos aplicados. ...	87
Figura 18. Diagrama de pareto de longitud de raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	88
Figura 19. Numero de brotes de <i>Pennisetum clandestinum</i> según los tratamientos aplicados. ....	90
Figura 20. Diagrama de pareto del número de brotes de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	91
Figura 21. Longitud de raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> según los tratamientos aplicados. ....	93
Figura 22. Diagrama de pareto de la longitud de raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	94
Figura 23. Longitud de tallo de <i>Pennisetum clandestinum</i> según los tratamientos aplicados. ....	96
Figura 24. Diagrama de pareto de la longitud de tallos de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	97
Figura 25. Grafica de intervalos de cada 15 días. ....	101
Figura 26. Grafica de intervalos cada 15 días de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	104

Figura 27. Grafica de intervalos, tamaño de la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	108
Figura 28. Porcentaje de humedad de las especies vegetales y suelo.....	109
Figura 29. Intervalo de factor de traslocación en <i>Pennisetum Clandestinum</i> . .....	111
Figura 30. Grafica de residuos para factor de traslocación en <i>Pennisetum Clandestinum</i> . .....	112
Figura 31. Grafica de residuos para factor de traslocación de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	116
Figura 32. Intervalo de factor de traslocación de <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	117
Figura 33. Grafica de residuos de factor de bioacumulación de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	122
Figura 34. Intervalos de factor de bioacumulación de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	123
Figura 35. Intervalos de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	127
Figura 36. Grafica de residuos de factor de bioacumulación en la raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	128
Figura 37. Intervalos de bioacumulación en la parte aérea de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	131
Figura 38. Grafica de residuos de bioacumulación en la parte aérea de <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	132
Figura 39. Intervalos de bioacumulación en la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> . .....	135
Figura 40. Grafica de residuos de bioacumulación en la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> . .	136
Figura 41. Factor de bioacumulación en la parte aérea y raíz de <i>Pennisetum clandestinum</i> . .....	137
Figura 42. Factor de bioacumulación en la parte aérea y raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> . .	138
Figura 43 Parámetros físicos del suelo. ....	141
Figura 44. Textura del suelo. ....	143
Figura 45. Curva granulométrica. ....	145
Figura 46. Grafica de residuos para los parámetros químicos. ....	149
Figura 47. Intervalos de parámetros químicos. ....	149
Figura 48. Lavado de material para cultivo in vitro. ....	178
Figura 49. Desinfección de frascos. ....	178
Figura 50. Secado de los frascos.....	178
Figura 51. Forrado de frascos para la desinfección en la estufa. ....	178
Figura 52. Desinfección de las tapas de frasco.....	179
Figura 53. Equipo de desinfección .....	179

Figura 54. Pesado de hormonas de crecimiento. ....	179
Figura 55. Pesado de medio de cultivo y nutrientes. ....	179
Figura 56. Pesado de sacarosa. ....	180
Figura 57. Preparación de medio de cultivo MS. ....	180
Figura 58. Agitación de medio de cultivo.....	180
Figura 59. Regulación de Ph de cada cultivo.....	180
Figura 60. Forrado las muestras de medio cultivo para el autoclavado.....	181
Figura 61. Autoclavado de las muestras. ....	181
Figura 62. Retiro de muestras después del auto clavado. ....	181
Figura 63. Gelificación del medio de cultivo en frascos. ....	181
Figura 64. Muestra de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> .....	182
Figura 65. Corte de nódulos radiculares. ....	182
Figura 66. Explantes para el cultivo in vitro.....	182
Figura 67. Insumos para la desinfección de explantes.....	182
Figura 68. Desinfección de explantes con cloro, etanol al 70 % e hipoclorito de sodio. ..	183
Figura 69. Enjuagues sucesivos con agua destilada. ....	183
Figura 70. Equipo de cámara de desinfección. ....	183
Figura 71. Siembra de explantes dentro de la cámara. ....	183
Figura 72. Siembra de las dos especies en medio de cultivo.....	184
Figura 73. Siembra de tres explantes en cada frasco. ....	184
Figura 74. Traslado de muestras a cámara de crecimiento. ....	184
Figura 75. Incubación en la cámara de crecimiento las muestras.....	184
Figura 76. Dos días de incubación de <i>festuca dolichophylla</i> .....	185
Figura 77. Dos días de incubación de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	185
Figura 78. Codificación de las muestras. ....	185
Figura 79. Quince días de cultivo in vitro. ....	185
Figura 80. Muestra de control.....	186
Figura 81. Quince dais de cultivo in vitro. ....	186
Figura 82. Muestra de IBA 5mg/l, día 20.....	186
Figura 83. Muestra de IBA 1mg/l, día 20.....	186
Figura 84. Dia 20, se observa la especie de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	187
Figura 85. Dia 20, se observa la especie de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	187
Figura 86. <i>Festuca dolichophylla</i> a diferentes tratamientos. ....	187
Figura 87. Muestra de <i>Festuca dolichophylla</i> a los 25 días.....	187

Figura 88. <i>Festuca dolichophylla</i> a 10mg/l de IBA.....	188
Figura 89. <i>Festuca dolichophylla</i> a 10mg/l de kinetina.....	188
Figura 90. <i>Festuca dolichophylla</i> a los 30 días .....	188
Figura 91. <i>Festuca dolichophylla</i> de 5mg/l de IBA. ....	188
Figura 92. Muestra de control de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	189
Figura 93. <i>Pennisetum clandestinum</i> a 5mg/l. ....	189
Figura 94. <i>Pennisetum clandestinum</i> a 1mg/l de kinetina. ....	189
Figura 95. Muestra de <i>Pennisetum clandestinum</i> con brotes.....	189
Figura 96. Retiro de cámara de crecimiento después de Cultivo in vitro. ....	190
Figura 97. <i>Pennisetum clandestinum</i> a los 30 días de 1mg/l de IBA. ....	190
Figura 98. Muestra de <i>festuca dolichophylla</i> . ....	190
Figura 99. <i>Festuca dolichophylla</i> de 10mg/l de kinetina. ....	190
Figura 100. Trasplante a maceteros después de cultivo in vitro, se observa la raíz .....	191
Figura 101. Trasplante de <i>Pennisetum clandestinum</i> despues de cultivo in vitro. ....	191
Figura 102. Se observa la especie de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	191
Figura 103. Trasplante para su aclimatación. ....	191
Figura 104. Se observa la raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	192
Figura 105. <i>Festuca dolichophylla</i> a 10mg/l de IBA. ....	192
Figura 106. Trasplante de todas las muestras a los maceteros.....	192
Figura 107. Toma de muestras de suelo. ....	192
Figura 108. Toma de muestras del pasivo Ambiental minero de Mañazo. ....	193
Figura 109. Toma de muestras de profundidad de suelo. ....	193
Figura 110. Toma de muestras en bolsas herméticas.....	193
Figura 111. Toma de muestras de suelo superficiales. ....	193
Figura 112. Punto de muestreo de suelo de pasivo Ambiental minero.....	194
Figura 113. Trasplante al suelo contaminado. ....	194
Figura 114. <i>Festuca dolichophylla</i> primer día expuesto al suelo contaminado.....	194
Figura 115. <i>Festuca dolichophylla</i> 2 meses expuesto al suelo contaminado. ....	194
Figura 116. Tres meses de tratamiento de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	195
Figura 117. Cuatro meses de Tratamiento .....	195
Figura 118. Se observa la raíz a los tres meses de tratamiento de <i>Festuca dolichophylla</i> . 195	
Figura 119. Se observa la especie de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	195
Figura 120. Raiz de <i>Pennisetum clandestinum</i> a los 5 meses.....	196
Figura 121. <i>Festuca dolichophylla</i> a los 5 meses .....	196

Figura 122. Plantas a los cinco meses de tratamiento.....	196
Figura 123. Raíz de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	196
Figura 124. Plantas a los cinco meses de tratamiento.....	197
Figura 125. Riego de las plantas. ....	197
Figura 126. Raíces a los seis meses de tratamiento .....	197
Figura 127. <i>Pennisetum clandestinum</i> , a los seis meses de tratamiento. ....	197
Figura 128. <i>Festuca dolichophylla</i> a los seis meses de tratamiento. ....	198
Figura 129. <i>Pennisetum clandestinum</i> a los seis meses de tratamiento.....	198
Figura 130. Plantas a los seis meses de tratamiento. ....	199
Figura 131. Medición de altura de <i>Festuca dolichophylla</i> . ....	199
Figura 132. Medición de altura de <i>Pennisetum clandestinum</i> . ....	199
Figura 133. Medición de conductividad eléctrica del suelo. ....	199
Figura 134. Medición de PH del suelo tratado .....	200
Figura 135. Muestra de suelo llevado al laboratorio de la UNAJ.....	200
Figura 136. Preparación de suelo para la medición de PH. ....	200
Figura 137. Pesado de muestra de suelo para determinar PH y CE.....	200
Figura 138. Preparación para determinar la textura del suelo. ....	201
Figura 139. Peso de muestra de suelo para determinar la textura del suelo. ....	201
Figura 140. Pesado de muestras de suelo. ....	201
Figura 141. Determinación de la granulometría del suelo.....	201
Figura 142. Tamizando las muestras de suelo. ....	202
Figura 143. Medición de la densidad y temperatura a los 40s.....	202
Figura 144. Medición de PH y conductividad eléctrica del suelo contaminado.....	203
Figura 145. Pesado de la biomasa húmeda para determinar la humedad. ....	203
Figura 146. Secado la biomasa húmeda a 105 °C de las especies vegetales. ....	203
Figura 147. Retiro después de secar para realizar el respectivo pesaje. ....	203

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Operacionalización de variables. ....	176
ANEXO 2. Matriz de consistencia .....	177
ANEXO 3. Panel fotográfico de ejecución del trabajo de investigación.....	178
ANEXO 4. Certificado de análisis de Acido Indol 3-Butirico .....	204
ANEXO 5. Certificado de analisis de kinetina .....	205
ANEXO 6. Informes de ensayo de laboratorio.....	206

## RESUMEN

En la actualidad, la degradación del terreno causada por metales pesados, producto de la extracción de minerales, representa uno de los problemas medioambientales más preocupantes a nivel global. Por ello, en esta investigación se determinó la capacidad fitorremediadora de las especies *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en suelos afectados por pasivos ambientales mineros, mediante la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal. La investigación se desarrolló en dos fases. En la primera, las plantas fueron cultivadas *in vitro* en una cámara de crecimiento; luego, se llevó a cabo el tratamiento del suelo contaminado con ambas especies. La concentración de metales pesados, tanto en el suelo como en las plantas, se determinó mediante espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) y espectrofotometría de absorción atómica, según el método Brios-FQ. Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 2×3×2. Los resultados mostraron que *P. clandestinum* presenta una alta capacidad de traslocación, particularmente para el cadmio, mientras que *F. dolichophylla* demostró ser eficaz en la traslocación de arsénico. En cuanto a la bioacumulación, *P. clandestinum* acumuló cadmio, arsénico y plomo en sus raíces, así como cadmio y arsénico en la parte aérea. Por otro lado, *F. dolichophylla* mostró acumulación de plomo en su parte aérea. En los tratamientos evaluados, *P. clandestinum* logró reducir el contenido de plomo en el suelo en 655.02 mg/kg en los tratamientos B12 y B23, alcanzando una eficacia del 77 %. En lo que respecta a la absorción de cadmio, el tratamiento B13 con *P. clandestinum* obtuvo una eficacia del 93 % (91.62 mg/kg), mientras que el tratamiento B22 con *F. dolichophylla* alcanzó una eficacia del 80 % (78.83 mg/kg). Para el arsénico, los tratamientos B22 con *P. clandestinum* y B21 con *F. dolichophylla* lograron una eficacia del 64 %, con valores de 19.24 mg/kg y 19.11 mg/kg, respectivamente. En conclusión, la aplicación de reguladores de crecimiento favoreció la capacidad de bioacumulación y traslocación de metales pesados en ambas especies, destacándose *Pennisetum clandestinum* en la remoción de cadmio y *Festuca dolichophylla* en la remoción de arsénico y plomo.

**Palabras claves:** Fitorremediación, metales pesados, reguladores de crecimiento vegetal *Festuca dolichophylla*, *Pennisetum clandestinum*, contaminación del suelo.

## ABSTRACT

Currently, soil contamination by heavy metals resulting from mining activity represents one of the most worrisome environmental problems globally. Therefore, this study determined the phytoremediation capacity of the species *Pennisetum clandestinum* and *Festuca dolichophylla* in soils affected by mining environmental liabilities, through the application of plant growth regulators. The research was conducted in two phases. In the first, the plants were grown *in vitro* in a growth chamber; then, the contaminated soil was treated with both species. The concentration of heavy metals in both soil and plants was determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES) and atomic absorption spectrophotometry, according to the BhiOS-FQ method. A completely randomized design with a  $2 \times 3 \times 2$  factorial arrangement was used for statistical analysis. The results showed that *P. clandestinum* has a high translocation capacity, particularly for cadmium, while *F. dolichophylla* proved effective in the translocation of arsenic. Regarding bioaccumulation, *P. clandestinum* accumulated cadmium, arsenic, and lead in its roots, as well as cadmium and arsenic in its aerial parts. On the other hand, *F. dolichophylla* showed lead accumulation in its aerial parts. In the evaluated treatments, *P. clandestinum* managed to reduce the lead content in the soil by 655.02 mg/kg in treatments B12 and B23, reaching an efficiency of 77%. Regarding cadmium absorption, treatment B13 with *P. clandestinum* obtained an efficiency of 93% (91.62 mg/kg), while treatment B22 with *F. dolichophylla* reached an efficiency of 80% (78.83 mg/kg). For arsenic, treatments B22 with *P. clandestinum* and B21 with *F. dolichophylla* achieved an efficacy of 64%, with values of 19.24 mg/kg and 19.11 mg/kg, respectively. In conclusion, the application of growth regulators favored the bioaccumulation and translocation capacity of heavy metals in both species, with *Pennisetum clandestinum* being the most effective in removing cadmium and *Festuca dolichophylla* in removing arsenic and lead.

**Keywords:** Phytoremediation, heavy metals, plant growth regulators *Festuca dolichophylla*, *Pennisetum clandestinum*, soil contamination.

## INTRODUCCIÓN

La minería juega un rol importante en el desarrollo económico de muchos países, especialmente en aquellos que se encuentran en vías de crecimiento (Nalukui et al., 2023). Sin embargo, también es una de los factores principales que originan la contaminación del suelo por metales pesados, lo que conduce a la degradación de los paisajes (Devanesan et al., 2023). Muchos países enfrentan el desafío de desarrollar estrategias efectivas para remediar la contaminación causada por metales pesados. Los métodos convencionales, tanto físicos así como químicos, suelen ser costosos y no son adecuados para la remediación a gran escala (Zhang et al., 2022). Además, uno de los principales retos para la minería es la rehabilitación, el cierre y la transición exitosa de las minas (Levett et al., 2023; Mur Paredes, 2015; Mehana et al. 2015). En Perú, la contaminación ambiental causada por metales pesados constituye asimismo un problema de gran relevancia y deriva principalmente de la actividad minera (Vásquez, 2016).

Hay diversas estrategias para reducir el impacto generado por la actividad minera, entre ellas la aplicación de tecnologías de biorremediación (Singh & Kostova, 2024). Una de las técnicas utilizadas es la fitorremediación, el cual es considerada una alternativa eficiente y amigable con el medio ambiente que emplea distintas especies de plantas hiperacumuladoras para la inmovilización y eliminación de contaminantes de metales pesados del suelo a través de diferentes mecanismos que incluyen fitoextracción, rizofiltración, fitovolatilización y fitoestabilización (Zhang et al., 2022; Muñoz et al., 2010)

Las plantas requieren ciertos metales esenciales, como cobre, zinc, cromo, hierro, níquel y manganeso, para su desarrollo normal y sus funciones biológicas. No obstante, los metales tóxicos como cadmio, plomo, mercurio y arsénico no son necesarios para ellas (Wang et al., 2017). Algunas especies vegetales pueden absorber y concentrar estos metales en cantidades superiores a las necesarias para su crecimiento, y se les denomina hiperacumuladores (Cahuana & Aduvire, 2020). Las plantas hiperacumuladoras son fundamentales para la fitoextracción, ya que pueden almacenar niveles de metales mucho más altos que los del suelo circundante (Nafeesa et al., 2023). Sin embargo, suelen tener una biomasa reducida porque destinan más energía a resistir altos niveles de metales acumulados en sus tejidos (Kabata, 2010).

Se consideran reguladores de crecimiento vegetal a ciertas sustancias internas que cumplen diversas funciones en los mecanismos internos del funcionamiento vegetal, incluido el

crecimiento, la diferenciación, el desarrollo y las respuestas al medio ambiente (Chen et al., 2020). Estos reguladores se dividen en varias categorías, tales como auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico, ácido salicílico, poliaminas y etileno. Son ampliamente utilizados en la agricultura intensiva debido a sus propiedades para promover el enraizamiento, el proceso de emergencia de las semillas y la etapa de maduración de los frutos (Ventura et al., 2020). Por ejemplo, las auxinas como el IBA se emplean para fomentar un enraizamiento rápido y abundante en esquejes de árboles, arbustos, así como en plantas ornamentales tanto anuales como perennes, las citocinas como kinetina se utilizan para estimular y promover una alta proliferación y división (Katel et al., 2022).

La regeneración de tejidos vegetales en condiciones controladas consiste en una técnica efectiva para producir plantas libres de enfermedades y una precisión genética alta (Vigil & Endara, 2006). Este proceso se realiza obteniendo formación de brotes desde tejidos meristemáticos auxiliares ubicados en el segmento basal de las plantas, o mediante el desarrollo de estructuras vegetativas u embrionarias por vía somática indirecta, generado desde callos cultivados en un entorno controlado in vitro (Domínguez et al., 2008). Los sistemas in vitro se dividen en cinco etapas fundamentales: 1) selección de la especie vegetal, 2) preparación del medio de cultivo adecuado, 3) crecimiento y diferenciación del tejido, 4) inducción del sistema radicular y 5) adaptación de las plántulas al medio externo. Todas estas fases son fundamentales y debe adaptarse según los objetivos específicos del investigador (Perea Dallos, 2010). En la presente investigación el objetivo es determinar la capacidad fitorremediadora de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal, Mañazo 2023.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

La degradación del suelo por metales pesados, como consecuencia de la actividad minera, representa una de las problemáticas ambientales más importantes en todo el mundo (Barsova et al., 2019). En particular, las minas abandonadas han dejado un legado de contaminación en suelos y aguas debido a la falta de una gestión adecuada (Kim et al., 2024). Según Hou et al. (2025), a nivel global se estima que entre 14 % y 17 % del suelo supera los límites seguros por presencia de metales como arsénico, cadmio, cobalto, plomo y otros. Esto representa aproximadamente 242 millones de hectáreas contaminadas lo cual afecta el ecosistema y salud humana. Los metales tienen una persistencia prolongada en el suelo, lo que provoca un deterioro progresivo de la calidad del suelo, disminución en el rendimiento de los cultivos y, lo que es aún más alarmante, los efectos tóxicos se distribuyen a lo largo de la cadena alimentaria, afectando indirectamente a diversas especies, incluidas las humanas (Qian et al., 2024). Los iones libres de metales pesados en el suelo son extremadamente difíciles de descomponer de manera natural, y a través de procesos de bioacumulación y biomagnificación, estos metales pueden acumularse en los organismos vivos, representando una grave amenaza para la salud humana, incluso a concentraciones mínimas (Chen et al., 2024).

En Perú, la problemática es particularmente grave debido a los pasivos ambientales generados por la minería, tanto formal como informal (Bech et al., 2012). Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2024), registran 6001 pasivos ambientales mineros en todo el país, muchos de los cuales continúan afectando gravemente la calidad del suelo y las fuentes de agua. En la región de Áncash, los estudios de Kee et al. (2018), revelaron concentraciones elevadas de metales pesados, como cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc, que superan los estándares nacionales de calidad ambiental. A su vez, investigaciones como la de Quispe et al. (2019), han evidenciado niveles alarmantes de metales pesados en los sedimentos de la cuenca Illpa. Del mismo modo, se calcula que el 71% de las empresas que realizan la minería artesanal en Perú incumplen las regulaciones ambientales, lo que contribuye a intensificar el problema (Chambi, 2017).

Los metales pesados como el arsénico, cadmio y plomo no solo son extremadamente tóxicos para el medio ambiente, sino que también presentan una gran amenaza para la

salud de las personas (Briffa et al., 2020). La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, 2020), ha clasificado estos metales como posibles agentes cancerígenos, y la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR, 2007), alerta sobre los efectos especialmente dañinos en niños, quienes son más vulnerables a problemas de aprendizaje, daños renales, alteraciones en la formación sanguínea y otros efectos de largo plazo.

En la región de Puno, los distritos mineros de Ananea y Mañazo han experimentado una intensificación de la minería artesanal informal desde los años 90, lo que ha provocado una creciente contaminación de las cuencas de los ríos Ramis e Illpa (Arce et al., 2021). Esta polución altera el pH del suelo y disminuye la cantidad disponible de nutrientes vitales, como el nitrógeno y disminuye la diversidad y biomasa microbiana (Anza et al., 2021). Además, las lluvias favorecen la lixiviación de metales pesados desde los relaves mineros abandonados, lo que incrementa el deterioro de los suelos y las aguas superficiales (Wang et al., 2019).

Para hacer frente a la contaminación del suelo causada por metales pesados, se han propuesto diversos métodos de remediación, tanto físicos como químicos. Sin embargo, la biodegradación y la biorremediación han demostrado ser los enfoques más prometedores debido a su bajo costo, su naturaleza ecológica y su potencial para adecuarse a condiciones ambientales complejas (Elumalai et al., 2024). Dentro de las opciones de biorremediación, la fitorremediación ha ganado atención como una alternativa efectiva y económica. Este proceso emplea plantas que puedan acumular, transformar, traslocar, estabilizar o degradar metales pesados, lo que puede ser especialmente útil en suelos contaminados con metales de naturaleza catiónica (como el Cd y Pb) y aniónica (como el As) (Zhang et al., 2024).

No obstante, la aplicación exclusiva de plantas para fitorremediación presenta limitaciones, como su capacidad restringida para acumular metales debido a la biomasa finita (Zhang et al., 2024). Por lo tanto, la fitorremediación complementada con promotores del crecimiento de las plantas se está perfilando como una solución novedosa para mejorar los resultados en la descontaminación de suelos (Veerapagu, 2024). Las especies fitorremediadoras se dividen en dos tipos: fitoextractoras, que absorben y acumulan los metales en sus tejidos, y fitoestabilizadoras, que inmovilizan los metales en el suelo. El monitoreo de la eficiencia de estos procesos se realiza a través de factores como la translocación y la bioconcentración (Leon, 2017). La parte aérea de las plantas

contaminadas puede ser recolectada y tratada mediante métodos como el secado, la incineración o el compostaje (Widmer & Norgrove, 2023).

Las hormonas vegetales igualmente juegan un papel clave al mejorar la eficiencia de la fitorremediación. Estas sustancias, que incluyen auxinas y citoquininas, regulan diversos procesos fisiológicos, como la formación de brotes y raíces, y el mantenimiento de los meristemas (Chen et al., 2022; Laguna Ibarra et al., 2019). En esta investigación se emplearán dos reguladores de crecimiento: la kinetina y el ácido indolbutírico.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es determinar la eficiencia de las especies *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en la adsorción de metales pesados (plomo, cadmio y arsénico) en suelos contaminados del distrito de Mañazo, en la región de Puno. Además, se evaluará el impacto de los reguladores de crecimiento vegetal, como la kinetina y el ácido indolbutírico, para mejorar la eficiencia de la fitorremediación en estos suelos contaminados.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo contribuyen *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, con la aplicación de reguladores de crecimiento vegetal, a la fitorremediación de suelos contaminados por pasivos ambientales mineros, Mañazo 2023?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la capacidad de propagación in vitro de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* aplicando los reguladores de crecimiento?
- ¿Cómo influyen los reguladores de crecimiento en la fisiología de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*?
- ¿Cuál es el factor de traslocación y bioacumulación de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cultivadas en suelos contaminados?
- ¿Qué concentraciones de Pb, Cd y As se acumulan en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* tras su cultivo en suelos contaminados?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la capacidad de fitorremediadora de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal, Mañazo 2023.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la capacidad de propagación por cultivo in vitro de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal.
- Determinar la influencia de los reguladores de crecimiento en la fisiología vegetal de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*
- Determinar el factor de traslocación y bioacumulación de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cultivadas en suelo contaminado.
- Determinar la concentración de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

### **1.4. Justificación**

Desde el punto de vista ambiental, la fitorremediación se presenta como una alternativa ecológica y sostenible para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados. Esta técnica aprovecha la capacidad de ciertas plantas, como *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, de absorber y acumular contaminantes sin manifestar síntomas de toxicidad (Marrero et al., 2012). Su implementación contribuye a restaurar el equilibrio del ecosistema y a mitigar los efectos de la contaminación generada por pasivos ambientales mineros (Wang & Delavar, 2024).

Desde el enfoque social, la fitorremediación es una técnica accesible y de bajo impacto para las comunidades, ya que no requiere desplazamientos humanos ni el uso de maquinaria pesada. Al reducir la exposición de las personas a metales tóxicos, mejora la salud pública y promueve condiciones de vida más seguras para las poblaciones vulnerables (Waseem et al., 2024). Además, su carácter natural y visible fomenta una mayor aceptación por parte de la población (Li et al., 2022).

Desde el ámbito económico, esta técnica representa una solución rentable, especialmente para zonas con recursos limitados. A diferencia de métodos convencionales, no exige grandes inversiones en infraestructura o materiales costosos (Pouresmaeli et al., 2022). Esto permite que comunidades afectadas puedan llevar a cabo procesos de remediación sin depender de grandes empresas o presupuestos estatales elevados.

Desde el punto de vista tecnológico, la aplicación de la micropropagación *in vitro* mejora significativamente el proceso de fitorremediación. Este método permite la producción rápida y masiva de plantas genéticamente homogéneas y libres de patógenos, lo que garantiza una mayor eficacia en la absorción de contaminantes (Cantabella et al., 2022). Asimismo, el uso de reguladores de crecimiento vegetal optimiza el desarrollo radicular y la capacidad de acumulación de metales como el cadmio y el plomo, reduciendo el tiempo de recuperación del suelo ((Oladoye et al., 2023; Wu et al., 2021).

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Okem et al. (2015) investigaron los efectos estimulantes del agua de humo derivado del humo Karrikinoli y otros reguladores de crecimiento como ácido giberélico (GA3), kinetina (Kin) y ácido indol-3-butírico (IBA) para mejorar el potencial de fitoextracción *Pennisetum clandestinum*. Determinaron que la acumulación Cd es mayor en las hojas de *P. clandestinum* que en las raíces. Esto indica que la translocación de Cd de la raíz al brote en esta especie de planta fue mayor cuando se trató con sustancias promotoras del desarrollo de la planta. Los agentes reguladores de crecimiento alivian los efectos negativos elevando la tolerancia de la especie vegetal frente a la toxicidad de metales pesados y potencian ciertas vías biosintéticas.

Carrillo y González (2021) mencionan en su estudio de los suelos y plantas donde indican que las concentraciones de Pb extraíble variaron de 0.4 a 2.9%; el Cd extraíble varió de 9.7 a 46% de la concentración total. En dicho estudio determinaron de que la especie *Pennisetum clandestinum* creció exitosamente y cubrió el relave, pero las cantidades de Cd y Pb detectadas excedieron los valores máximos de seguridad para la salud de animales domésticos, 0.5 y 10 mg kg/L , respectivamente. Así mismo a diferencia de otras especies estudiadas el *Pennisetum clandestinum* formó una capa de hojarasca prístina y uniforme.

Muscolo et al. (2013) evaluaron el efecto de la salinidad en la germinación, el crecimiento, el metabolismo, la bioquímica, las propiedades nutritivas y la morfología de la raíz de *Pennisetum clandestinum*. Los resultados indican que el *Pennisetum clandestinum* puede germinar y crecer en áreas afectadas por salinidad, el empleo de esta especie forrajera con tolerancia a la salinidad podría desempeñar un papel relevante dentro de diversas estrategias, tales como la reutilización de aguas residuales salinas y la rehabilitación de suelos salinizados en regiones áridas con sistemas de riego.

Madyiwa et al. (2002), determinaron el nivel de absorción de metal en un pastizal de mixto *Pennisetum clandestinum* (hierba kikuyu) y *Cynodon nlemfuensis* (hierba

estrella). Llegaron a la conclusión de que los pastos absorbieron niveles moderados de Cu y Zn, y niveles limitados de Pb. Los resultados también muestran que el pasto acumula metales pesados más allá de los niveles tóxicos, y el pasto aún se ve saludable y crece bien.

Bulak et al. (2011) mencionan que las hormonas auxinas, citosinas y giberelinas afectan positivamente el grado de acumulación de impurezas metálicas y mejoran el crecimiento y la resistencia al estrés de las plantas. La fitoextracción asistida por reguladores del crecimiento vegetal tiene muchos efectos positivos y deseables debido a que aumenta el grado de acumulación y translocación de metales pesados, los reguladores de crecimiento también protegen el aparato fotosintético del choque oxidativo inducido por metales pesados, aumentan la longitud de las raíces, el desarrollo de las partes aéreas y el incremento de biomasa vegetal, mejoran la tasa de transpiración, la floración y el rendimiento.

Peláez et al. (2016) analizaron la concentración de cadmio y plomo en suelos y su acumulación en tejidos de plantas pertenecientes al género *Brachiaria*, de la familia Poaceae. Señalaron que la bioacumulación más elevada de estos metales se observó en los tejidos vegetales en el siguiente orden: raíces, seguido de tallos y finalmente hojas. Además, indicaron que la mayor acumulación de metales en el suelo se encontró a una profundidad de 5 cm.

Rostami y Azhdarpoor (2019) mencionan que la aplicación de reguladores del crecimiento vegetal reduce el estrés no biótico de las plantas. La aplicación externa de estos materiales también se puede utilizar para mejorar la fitorremediación de suelos contaminados. Así mismo confirman que el efecto positivo de los reguladores de crecimiento en la mejora del rendimiento fisiológico de las plantas bajo estrés.

Steliga y Kluk (2020) evaluaron la efectividad de la fitorremediación asistida por fertilización en suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos de petróleo (TPH). El estudio utilizó macetas con *Festuca arundinacea* cultivada en suelos con diversas concentraciones y tipos de contaminación. Después de seis meses, se observó la disminución de metales pesados: plomo (Pb) disminuyó entre un 25.4% y 34.1%, níquel (Ni) entre un 18.7% y 23.8%, y cadmio (Cd) entre un 26.3% y 46.7%. Los factores de translocación (TF) fueron inferiores a 1, con valores de 0.46 a 0.53 para Pb, 0.29 a 0.33 para Ni y 0.21 a 0.25 para Cd, lo que sugiere que los metales

absorbidos se acumularon principalmente en las raíces, en un orden descendente de acumulación: Cd < Ni < Pb. Este patrón indica una limitada translocación de metales desde las raíces hacia los brotes de *Festuca arundinacea*. Los resultados sugieren una disminución de la toxicidad del suelo gracias a la fitorremediación asistida por *Festuca arundinacea* y el proceso de fertilización, lo cual se asocia con una reducción en la cantidad de impurezas nocivas en los suelos tratados.

Shahzad et al. (2024) mencionan que las hojas de *Festuca arundinacea* pueden excretar cadmio (Cd) en la superficie de la hoja, lo que conduce a una estrategia de fitorremediación basada en “absorción de raíz, translocación de raíz a hoja y excreción de hoja”. La biorremediación con biobomba implica el bioproceso de absorción de raíz de la planta desde el suelo, la translocación de raíz a hoja y la excreción de hidatodos de hoja. Aquí los impactos relevantes de las fitohormonas y reguladores del crecimiento en la modulación de la eficacia de la fitoextracción. Los hallazgos indicaron que compuestos reguladores como el ácido salicílico y etileno mejoraron todo el proceso de absorción de Cd por la raíz, la translocación de raíz a hoja y la excreción de hoja, promoviendo la eficiencia de fitoextracción en un 63.6% y un 73.8%, respectivamente. La giberelina también promovió en gran medida la translocación de Cd, la excreción foliar y la fitoextracción, pero no afectó significativamente la absorción de Cd por las raíces. Nuestros resultados indican que el ácido salicílico y el etileno podrían recomendarse para promover la eficiencia de la fitoextracción con biobomba en *F. arundinacea*. La giberelina podría usarse para promover a corto plazo la excreción de Cd por las hojas.

Lee et al. (2023) mencionan en su investigación que las características de fitorremediación a largo plazo y la estructura de la comunidad bacteriana en suelo contaminado con diésel y metales pesados a escala piloto. El suelo estaba contaminado con diésel, Cu, Pb y Cd. Se cultivaron plántulas de *Festuca arundinacea* en el suelo contaminado y se monitoreó el desempeño de la fitorremediación durante 571 días. La tasa máxima de remoción de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) fue del 62.6%, con TPH residuales restantes al final del experimento. De los tres metales pesados, el Cd tuvo la mayor eficiencia de absorción en la *festuca* alta, con un factor de bioconcentración de 0.58.

Arce Sancho et al. (2021) investigó la capacidad de restauración del suelo contaminado de los campos de tiro utilizando tres especies de plantas: *Festuca*

*arundinacea* Schreb., *Trifolium pratense* L. Chang Kee et al., (2018), evaluaron el impacto de la contaminación en el desarrollo de las especies vegetales y la capacidad de las plantas para acumular elementos potencialmente tóxicos del suelo contaminado. El estudio de campo se llevó a cabo en un campo de tiro civil de Lituania que estuvo en funcionamiento durante 65 años, donde la concentración de plomo (Pb) en el suelo del campo de tiro era extremadamente alta: 17.890 mg kg/L y se encontraron niveles elevados de antimonio (Sb) en el suelo de la berma. La altura de los brotes de todas las especies cultivadas en el suelo contaminado del campo de tiro fue significativamente menor que la de las cultivadas en el suelo no contaminado. Se observó la misma tendencia del efecto del suelo contaminado en la longitud de la raíz: las raíces fueron estadísticamente significativamente más cortas que el control, mientras que la longitud media de la raíz de *F. arundinacea* no difirió de las plantas de control. Entre todas las plantas estudiadas, *F. arundinacea* fue la planta capaz de acumular cantidades significativamente mayores de Pb, níquel (Ni) y Sb en las raíces que en los brotes. Las raíces de todas las plantas tratadas acumularon concentraciones significativamente mayores de Pb en comparación con el control. Las mayores concentraciones de Pb se determinaron en los brotes de *F. arundinacea* y *T. pratense*. Solamente las raíces de *M. sativa* y *F. arundinacea*, acumularon mayores concentraciones de Ni y Sb, en comparación con los controles. El factor de bioconcentración de Pb (BCFPb) significativamente mayor se determinó en *F. arundinacea* pero aún fue menor a 1.0. La capacidad de acumulación de Pb de las diferentes especies vegetales fue en el siguiente orden: *F. arundinacea* > *T. pratense* > *M. sativa* mostrando potencial fitoestabilizador de las plantas.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Chang et al. (2018) evaluaron la acumulación de metales pesados en plantas nativas de los Andes, identificándolas como posibles agentes para la fitorremediación de suelos en la región de Ancash, Perú. Durante el estudio, las especies fueron expuestas a residuos mineros, y se encontraron concentraciones de metales en los brotes del *Pennisetum clandestinum* de 1.14 mg/kg para zinc y 236.86 mg/kg para plomo. Estas plantas muestran un alto potencial para la descontaminación de suelos debido a su capacidad para acumular y movilizar metales, además de su resistencia a ambientes con elevada contaminación metálica en la zona andina.

Bedriñana, Peinado y Peñaloza (2020) determinaron la bioacumulación de plomo en suelo superficial (0-20 cm), en raíces y parte aérea de pastos naturales y cultivados en suelos altamente contaminados en los Andes Centrales del Perú. La concentración de Plomo fue significativamente mayor en el suelo que en la raíz y en la parte aérea de los pastos naturales.

Cahuana y Aduvire (2018) realizaron un estudio sobre la acumulación de metales pesados en tejidos de plantas acuáticas y terrestres en zonas afectadas por pasivos ambientales mineros en Perú. El objetivo fue analizar la concentración de metales pesados en especies vegetales como *Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp*, ubicadas cerca de antiguas instalaciones mineras abandonadas. Los resultados mostraron que los niveles de arsénico (As) en estas especies superaron los límites máximos permitidos.

Ñañez, (2016) llevó a cabo un estudio para identificar y seleccionar especies vegetales con potencial para la biorremediación en drenajes ácidos de roca y relaves minerales en la cuenca del río Santa. Durante la investigación, se recolectaron 28 especies en la temporada húmeda y 20 en la seca. A través del cálculo del factor de bioconcentración, se eligieron 20 especies que demostraron ser tolerantes y/o hiperacumuladoras de metales como plata, aluminio, arsénico, boro, hierro, cadmio, cromo, cobre y plomo, entre las cuales destacan *Distichia muscoides*, *Juncus arcticus*, *Juncus bufonius* y *Pennisetum clandestinum*

Cruzado et al. (2021) investigaron sobre la acumulación de arsénico (As), plata (Ag), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en plantas nativas que crecen en suelos afectados por contaminación minera en los Andes peruanos, con el objetivo de evaluar su potencial para la fitorremediación. Las áreas estudiadas comprendieron dos pasivos ambientales ubicados en la región de Cajamarca, en los Andes del Perú. El contenido de As, Ag, Cd, Cu, Pb y Zn se determinó en órganos individuales de las plantas y se correlacionó con características del suelo.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Torres (2018) evaluó los factores de bioconcentración (FBC) y translocación (FT) en tres especies vegetales altoandinas —*Stipa ichu*, *Pennisetum clandestinum* y *Medicago lupulina*— cultivadas en suelos contaminados con metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), zinc (Zn) y cobre (Cu), provenientes de una

planta concentradora. Los resultados mostraron que el orden de concentración de metales fue  $Pb > Zn > Cu > Cd > Ni$ . *Stipa ichu* y *Pennisetum clandestinum* presentaron valores de FBC de 1.07 y 1.62, y FT de 1.15 y 1.66, respectivamente, mientras que *Medicago lupulina* mostró un FBC de 2.13 y un FT de 1.18. Estas cifras indicaron que las tres especies pueden clasificarse como plantas fitoextractoras, especialmente eficaces para la remediación de suelos contaminados con zinc

Arce et al. (2021) llevaron a cabo un proceso de fitorremediación utilizando *Festuca dolichophylla*, una planta nativa, incorporando tiosulfato de amonio como agente químico acelerador. Las muestras de suelo se tomaron de zonas contaminadas con mercurio en el distrito de Ananea, Puno. Los resultados mostraron que, tras el tratamiento con tiosulfato, la acumulación total de mercurio (THg) fue mayor en las hojas de *Festuca dolichophylla*. Específicamente, la concentración de mercurio aumentó en un 600% en raíces, 700% en tallos y 300% en hojas en las macetas tratadas con 2 g/kg de tiosulfato, en comparación con aquellas que no recibieron tratamiento.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Definición de los reguladores de crecimiento**

Los reguladores de crecimiento vegetal son compuestos orgánicos que cumplen funciones fundamentales en distintos procesos fisiológicos de las plantas. Aunque se utilizan en concentraciones mínimas, estos compuestos desencadenan una serie de procesos bioquímicos y moleculares en las plantas (Alcántara et al., 2019). Además, aumentan la efectividad de la biorremediación en suelos afectados por metales pesados al potenciar la acumulación de estos en los tejidos de las plantas (Gutierrez & Gonzales, 2019).

### **2.2.2. Clasificación de los reguladores de crecimiento**

Según Alcántara et al., (2019) los reguladores de crecimiento vegetal se clasifican según su estructura molecular, función en la planta y si tienen efectos inhibitorios o estimulantes, entre otros criterios. Por otro lado (Laguna et al., 2019) señalan que las auxinas y citoquininas son los reguladores de crecimiento más relevantes, debido a su papel fundamental en la regulación de la ramificación de los brotes, el desarrollo

y conservación de los meristemos, así como en la formación de raíces y otras funciones esenciales.

#### **a. Auxinas**

- Efectos a nivel vegetal: Promueven la formación y alargamiento de los tallos, la generación de raíces adventicias y el fortalecimiento de la dominancia apical.
- Efecto a nivel celular: Intervienen en la división y elongación de las células, la diferenciación celular, estimulan la división en los meristemos, incrementan el contenido osmótico y la permeabilidad celular, aumentan la síntesis de proteínas y reducen la presión en la pared celular (Alcántara et al., 2019).

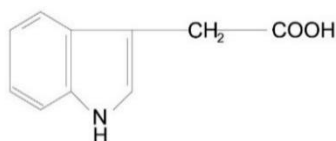
#### **b. Citoquininas**

- Efectos a nivel vegetal: Promueven la formación y elongación de raíces, favorecen la senescencia de las hojas, estimulan el desarrollo fotorregulado de la planta y fomentan la aparición de brotes axilares.
- Efecto a nivel celular: Facilitan el sostenimiento e inicio de la proliferación de tejidos vegetales madre, generando una elevada división celular, especialmente en las células de los ápices radiculares (Alcantara et al., 2019).

#### **c. Acido-inodolbutirico**

El ácido indol butírico (IBA) es un precursor de las auxinas y actúa como una hormona sintética que regula varios aspectos relacionados con el crecimiento y desarrollo vegetal. Sus funciones principales incluyen estimular la división, elongación y diferenciación de los tejidos celulares, tal como se muestra en la Figura 1 (Borjas et al., 2020), Además, él IBA fomenta el enraizamiento debido a su menor movilidad, baja fotosensibilidad y mayor estabilidad química en las plantas (Vernier & Cardoso, 2013); También contribuye a mejorar la productividad y la adaptabilidad de las plantas (Gutierrez & Gonzales, 2019).

Estructura química de ácido 3-indol butírico

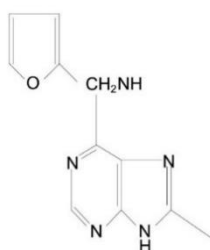


*NOTA:* Adaptada de “Plant growth regulators” ( p. 93), por W. Charles,2009, Trease and Evans' Pharmacognosy.

#### d. Kinetina

La kinetina (6-furfurilaminopurina) es una fitohormona clasificada químicamente como una sustancia derivado de la adenina y pertenece al grupo de las citoquininas (Heisler & Byrne, 2020). Las citoquininas, como la kinetina, son conocidas por su capacidad para activar y favorecer una alta proliferación y división celular. Estas hormonas desempeñan múltiples funciones en las plantas, como la iniciación y elongación de las raíces, así como el control de la senescencia de las hojas. Asimismo, contribuyen al desarrollo estructural de las plantas, especialmente cuando enfrentan situaciones de estrés abiótico (Porfírio et al., 2016).

Estructura química de la Kinetina



*NOTA:* Adaptada de “Plant growth regulators” ( p. 93), por W. Charles,2009, Trease and Evans' Pharmacognosy.

### 2.2.3. Contaminación de suelos

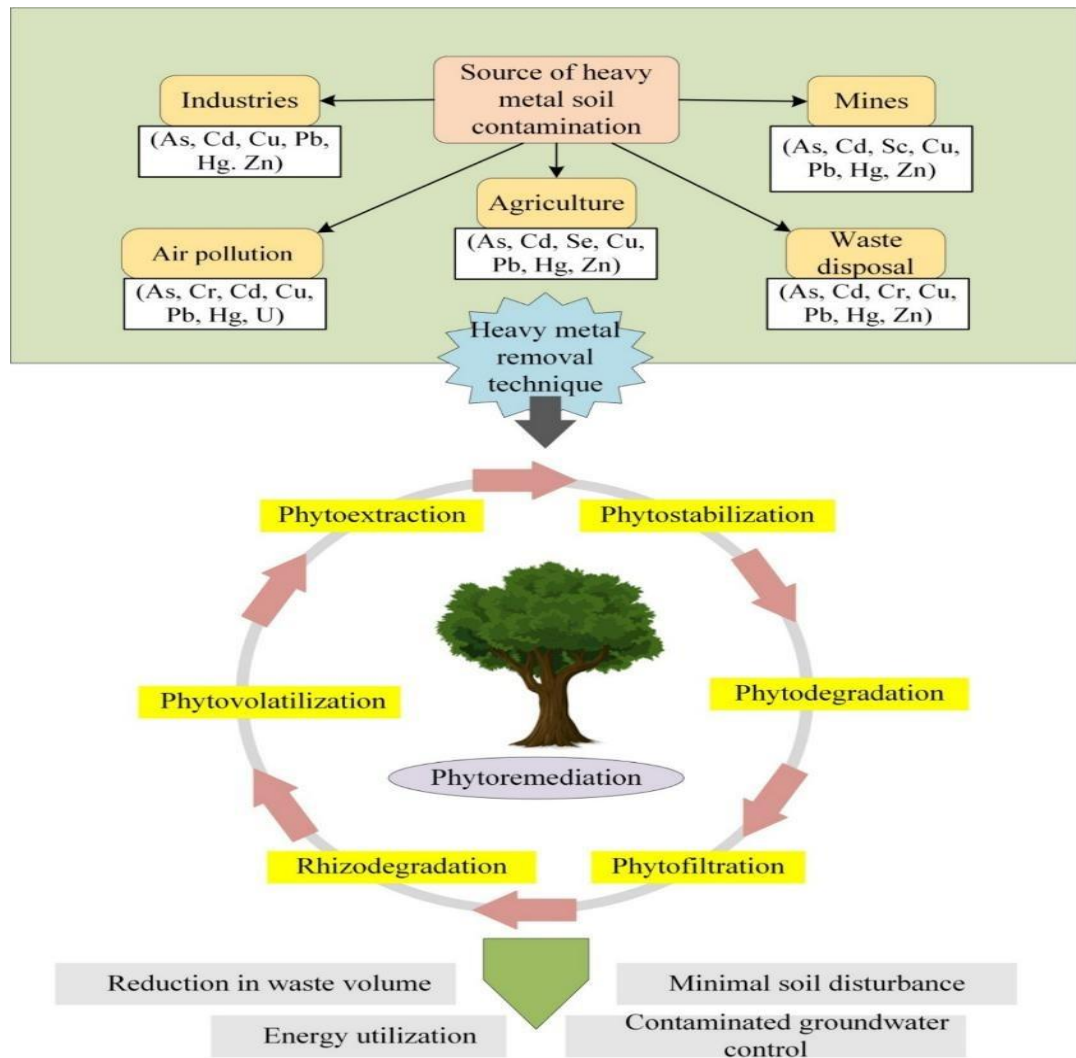


Figura 1. Técnica de eliminación de metales pesados.

Fuente: Lavanya (2024).

## 2.2.4. Tecnologías para la remediación de suelos contaminados

Según Liu et al., (2024) se tiene las tecnologías de remediación que se visualiza continuación.

<b>Clasificación remedial</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Tecnología de remediación física	Tratamiento térmico	Periodo de tratamiento corto, alta eficiencia, alta seguridad, ausencia de contaminación secundaria, reciclaje de suelo y metales pesados.	La temperatura de calentamiento y el contenido de oxígeno de la atmósfera pueden provocar reacciones secundarias. Dispositivos costosos, tiempo de desorción prolongado.
	Reemplazo de suelo	Adecuado para sitios pequeños contaminados.	Dependiendo de la profundidad del suelo que se va a eliminar y reemplazar, la remediación puede ser costosa; el suelo contaminado eliminado puede necesitar mayor manipulación y eliminación.
	Lixiviación química	Las sustancias tóxicas se eliminan principalmente de las capas superiores, lo que hace que las plantas crezcan favorablemente.	No es el remedio a largo plazo para el cultivo de raíces profundas.
Tecnología de remediación química	Químicamente estable	La adsorción de metales pesados del suelo hace que las plantas en desarrollo tengan menos disponibilidad de ellos.	No es una solución viable, ya que los metales pesados se descargan en el suelo en condiciones climáticas favorables.

---

	Reparación electroquímica	Beneficioso para baja permeabilidad y rápida instalación.	Inadecuado para utilizar membrana de intercambio iónico, efectividad limitada, control reacio del pH
	Remediación microbiana	Para procesar metales a partir de minerales de baja calidad, la lixiviación microbiana es fácil y eficiente.	Proporcionar condiciones adecuadas para su producción, ciertos tiempos tediosos
Tecnología de biorremediación	Fitorremediación	Las plantas, principalmente en la raíz, el tallo y las hojas, soportan altos niveles de metales.	Complejidad en la elección de plantas para el proceso de remediación de una forma específica de metales
	Remediación de animales	Baja toxicidad ambiental	No favorece el establecimiento de simbiosis microbianas y procesos de fitorremediación.

---

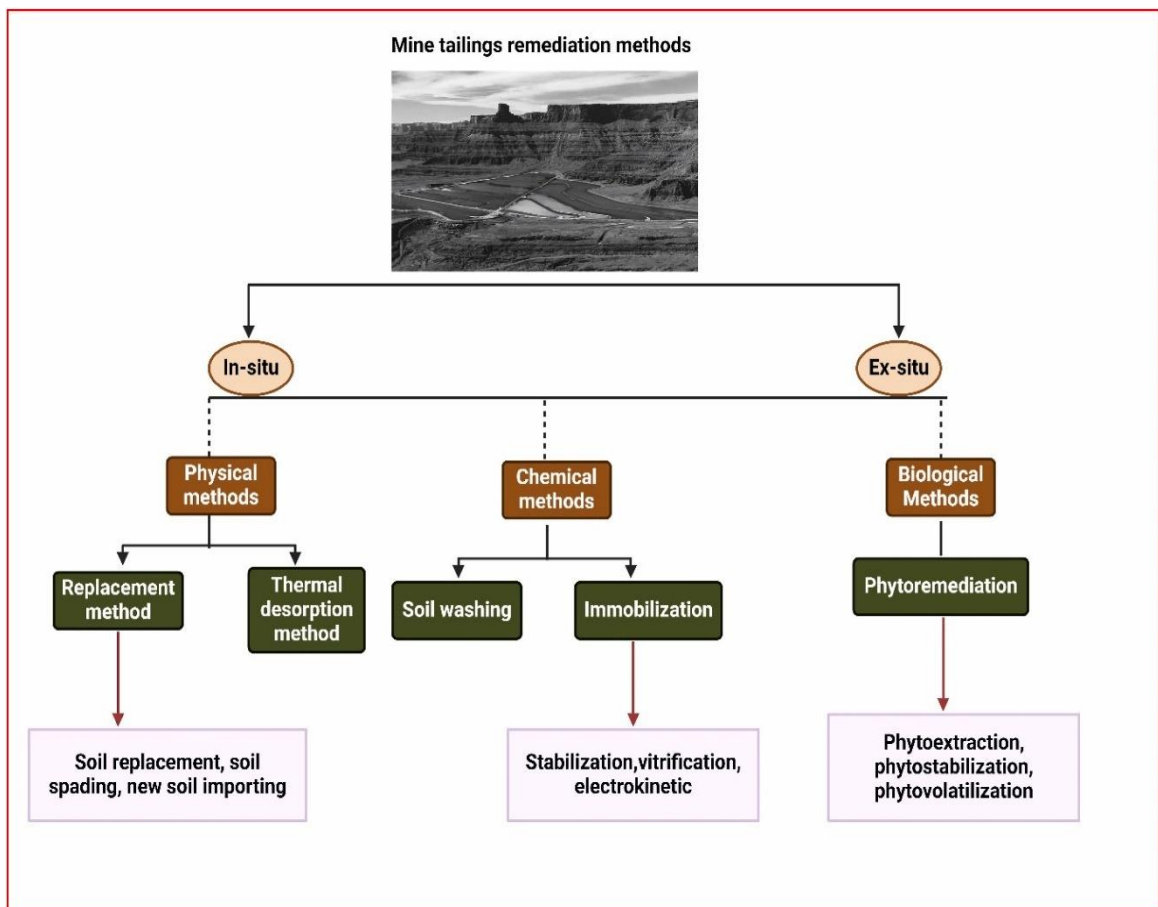


Figura 2. Métodos físicos, químicos y biológicos empleados para la remediación de relaves mineros.

Fuente: Hassan et al., (2024).

### 2.2.3. Fitorremediación de suelos contaminados

La fitorremediación consiste en un método que emplea plantas para eliminar contaminantes del suelo a través de sus procesos fisiológicos y los organismos asociados a ellas (Shmaefsky, 2020). Las técnicas utilizadas para la fitorremediación son la fitoextracción, la fitofiltración, la fitoestabilización, la fitovolatilización y la fitodegradación (Manorama et al., 2020). La fitorremediación de suelos afectados por metales pesados comprende diversos procedimientos, entre los que se encuentran la absorción de estos metales por las plantas (fitoextracción), su acumulación y traslado dentro de la planta (fitoacumulación), la liberación de metales a la atmósfera (fitovolatilización) y la inmovilización de contaminantes en la zona de las raíces (fitoestabilización) (Shah & Daverey, 2020).

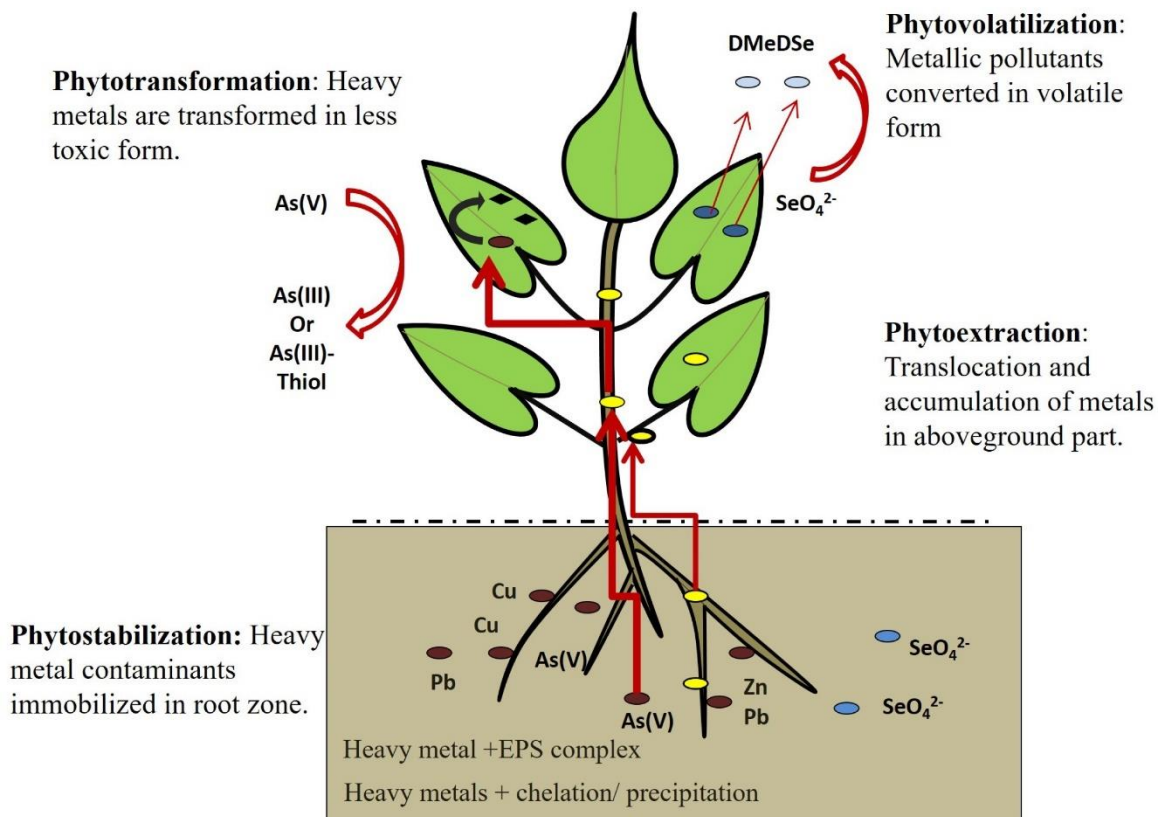


Figura 3. Tecnologías de fitorremediación

Fuente: Hassan (2024).

### a. Técnicas de fitorremediación

- **Fitoextracción**

La fitoextracción es el proceso de transferencia de contaminantes desde el suelo a las distintas partes de la planta (hiperacumuladora) a través de su sistema de raíces para su transferencia al sistema de brotes (Pezo et al., 2019). Este proceso consiste en que las plantas absorben metales, los transportan desde las raíces hasta los tejidos externos y luego se realiza la recolección continua de la biomasa (Porfírio et al., 2016). La Fito extracción se caracterizan principalmente como especies de plantas con un factor de translocación (TF) y un factor de bioconcentración (BCF).

- **Fitoestabilización**

La fitoestabilización utiliza plantas tolerantes a metales para fijar física y químicamente los elementos metálicos tóxicos en suelos contaminados, reduciendo su biodisponibilidad en el medio ambiente. Por lo tanto, estos metales quedan inmovilizados, impidiendo su desplazamiento hacia las

aguas subterráneas y su incorporación en la cadena alimentaria (Bhat et al., 2022). Las fitoestabilización es la alternativa económica y técnicamente más viable para el control de la contaminación del suelo, como también es una medida más viable para la recuperación de grandes superficies de terreno contaminado (Dominguez, 2015). Según (Torres & Sánchez.), las plantas pueden intervenir de dos formas: la primera es mediante estabilización, en la que los elementos tóxicos permanecen en la zona de las raíces (rizosfera) y no se trasladan a las partes aéreas de la planta. La segunda vía es la extracción, donde la concentración de estos elementos tóxicos se acumula principalmente en las partes aéreas.

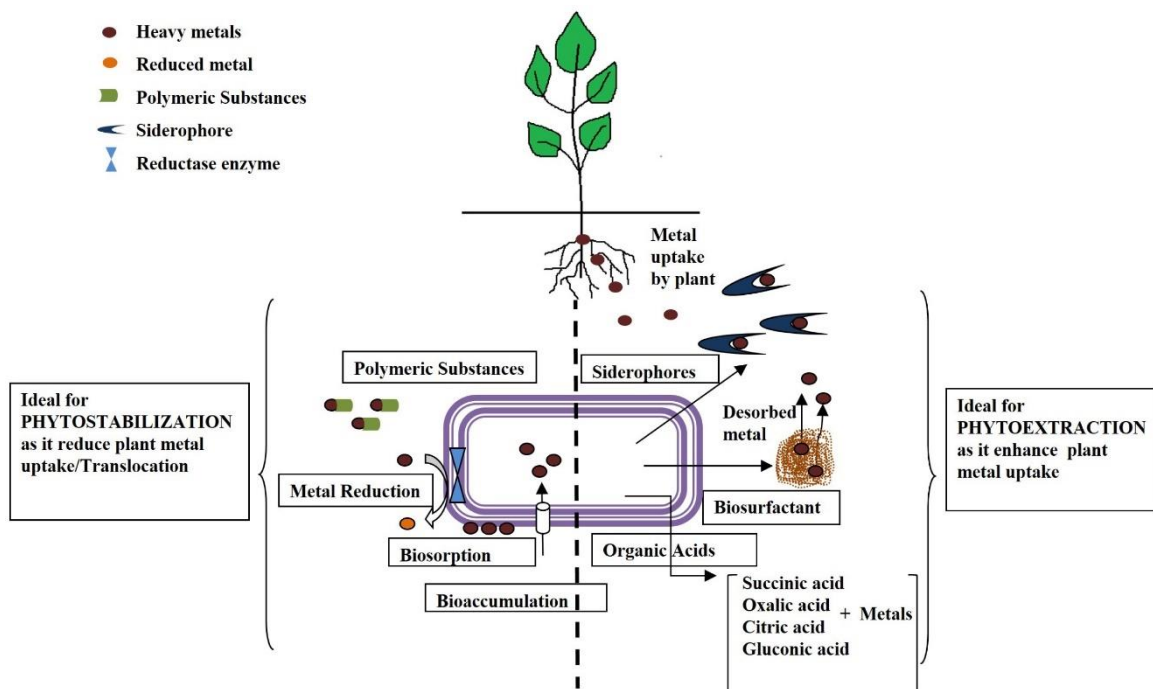


Figura 4. Tecnología de remediación

Fuente: Hassan (2024).

- **Rizofiltración**

Este mecanismo se relaciona básicamente con las raíces de las plantas (rizoma). En este mecanismo (rizofiltración), los metales pesados pueden ser incorporados en el interior de la raíz mediante un proceso de absorción, o bien adherirse a la superficie radicular a través de la adsorción. Las plantas utilizadas para este mecanismo suelen

ser de raíces largas y peludas, además de una notable capacidad para acumular metales pesados (Oladoye et al., 2022)

- **Fitovolatilización**

En este método, las plantas captan los contaminantes presentes en el suelo, los convierten en compuestos volátiles y posteriormente los liberan al aire mediante la transpiración.

**b. Factor de bioconcentración**

La bioconcentración es el mecanismo mediante el cual un organismo acumula sustancias químicas al estar expuesto a su entorno no vivo. Este fenómeno puede conducir a la biomagnificación, que consiste en el aumento de los niveles de contaminantes dentro de los tejidos vegetales (Gaspar et al., 1996). Por otro lado, el factor de bioconcentración se define como la relación entre la cantidad de metales pesados acumulados en diferentes partes de la planta como raíces, tallos y hojas y la concentración total de estos metales presente en el suelo (Heisler & Byrne, 2020).

$$BCF = \frac{C_{Planta}}{C_{Suelo}} \dots\dots\dots (1)$$

**Donde**

**BCF:** Factor de Bioconcentración

**$C_{Planta}$ :** Concentración del metal en la planta

**$C_{Suelo}$  :** Concentración del metal en el suelo

Los valores elevados del factor de bioconcentración (FBC) reflejan una mayor habilidad para bioacumular metales. Un  $FBC > 1$  sugiere que la planta tiene potencial para funcionar como hiperacumuladora de metales pesados, mientras que las especies excluidoras presentan un  $FBC < 1$ ; cuanto más bajo sea este valor, mayor será su capacidad para excluir metales (Audet & Charest, 2007).

**c. Factor de traslocación**

George et al. (2008), indican que el factor de translocación es un indicador de la transferencia y transporte de sustancias químicas desde el punto de absorción en las raíces hacia otras partes de la planta. Según Heisler y Byrne (2020), este factor se

representa por la relación entre la concentración de la sustancia en la parte aérea de la planta y su concentración en las raíces.

$$TF = \frac{C_{AP}}{C_{RP}} \dots \dots \dots (2)$$

**Donde**

**TF:** Factor de Traslocación

**C<sub>AP</sub>:** Concentración del metal en la parte aérea de la planta (mg/Kg)

**C<sub>RP</sub>:** Concentración del metal en la raíz de la planta (mg/Kg)

#### **2.2.4. Especies vegetales remediadoras**

Son especies que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con alto nivel de metales (Porfírio et al., 2016).

- **Plantas altoandinas**

Según Torres (2018), las especies vegetales de las zonas altas andinas son aquellos organismos que crecen en las elevaciones de la cadena montañosa de los Andes. Desde un punto de vista taxonómico, estas plantas pertenecen al reino plantae, y en este sentido forman un grupo monofilético eucariota que incluye a las plantas terrestres y a las algas que están asociadas a ellas.

- **Pennisetum clandestinum**

La especie *Pennisetum clandestinum* conocida como Kikuyo, es una hierba perenne de la familia de las gramíneas, que presenta un color verde amarillento y se caracteriza por su crecimiento estolonífero y rizomatoso, formando un césped denso. Procedente de las tierras altas de África Central, en la actualidad está presente en varias zonas, principalmente entre los 1500 y 3500 metros de altitud, en los departamentos de Áncash, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Huancavelica y Puno (Benavides, 1977);(Torres, 2018).

El Kikuyo se reproduce mediante múltiples estolones y rizomas robustos, carnosos y extendidos, que pueden llegar a medir y profundizar hasta 2 metros o incluso más (Muscolo et al., 2013). Sus estolones enraízan fácilmente en cada nudo y la planta muestra una notable tolerancia a la sequía, el calor y la salinidad (Benavides, 1977).

Por otro lado, *Pennisetum* sp. se caracteriza por un sistema de raíces vigoroso y un crecimiento rápido, lo que le permite adaptarse y prosperar en suelos contaminados. Se ha observado que diferentes variedades de esta especie presentan capacidades variables para acumular arsénico, dependiendo de las características específicas de los suelos contaminados en los que crecen (Rahman, Shamsuzzaman, et al., 2024). En este contexto, varios estudios han señalado propiedades de *Pennisetum hybridum* que le confieren un alto potencial para la fitoextracción de metales pesados, consolidando su utilidad como recurso para la rehabilitación de suelos contaminados (Liu et al., 2024). Al utilizar la biomasa que se recolecta durante la operación de fitorremediación, es posible crear bioenergía renovable, como el biogás, al mismo tiempo que se eliminan toxinas peligrosas y se mejora la condición del suelo (Rahman, Shamsuzzaman, et al., 2024).

Tabla 1  
Jerarquía taxonómica de *Pennisetum clandestinum*.

<b>Taxonomía</b>	
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Subfamilia	: Panicoideae
Tribu	: Paniceae
Genero	: <i>Pennisetum</i>
Especie	: <i>Pennisetum clandestinum</i>
Nombre común	: "Kikuyo"

*Nota.* La tabla representa la Jerarquía taxonómica de *Pennisetum clandestinum*. Tomado de (Benavides, 1977).

- *Festuca dolichophylla*

La especie *Festuca dolichophylla* conocida como Chillihua (Pezo et al., 2019), es una hierba perenne, de 40 – 100 cm de alto, la raíz se constituye de tipo adventicia fasciculada y las hojas, que sobresalen de los tallos vegetativos, miden entre 10 y 35 cm de largo y tienen láminas delgadas y ligeramente planas. La inflorescencia consiste en una panícula estrecha de 10 a 16 cm de longitud; las espiguillas multifloras alcanzan entre 9 y 10 mm. El lema, que mide de 6 a 7 mm, presenta una forma ligeramente aristada o acuminada. Las glumas son puntiagudas y más cortas que el lema, con tamaños desiguales: la inferior mide 4 mm y tiene un nervio, mientras que la superior es mayor a 5.5 mm y posee tres nervios. La reproducción se da tanto por semillas botánicas como de forma vegetativa.

Laura (2022) señala que ciertas especies endémicas del Perú pertenecen a la familia Poaceae, al igual que la *Stipa ichu*. Esta gramínea se desarrolla en zonas de gran altitud y es utilizada como forraje para animales debido a su contenido nutricional, que incluye un 7.6% de proteína cruda y un 40% de fibra cruda (Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), 2013). Dado que crece en regiones altoandinas, está expuesta a condiciones climáticas extremas y a suelos con elevados niveles de metales, lo que la convierte en una especie prometedora para el presente estudio.

Además, *Festuca* sp. se utiliza comúnmente para la conservación de agua y suelo, y es especialmente efectiva en la fitoextracción de suelos contaminados con metales pesados. Esta planta tiene la capacidad de redistribuir la mayor parte de los metales acumulados hacia los tejidos que caen, lo que le permite proteger sus hojas jóvenes (Yang et al., 2021). *Festuca* sp. también es capaz de extraer cadmio (Cd) de la rizosfera y translocarlo hacia sus tejidos aéreos, lo que fortalece su capacidad como recurso útil en la descontaminación y recuperación de suelos afectados (Yang et al., 2021).

**Tabla 2**Jerarquía taxonómica de *Festuca dolichophylla*

<b>Taxonomía</b>	
Reino	: Plantea
Sub. Reino	: Phanerogamae
División	: Angiospermae
Clase	: Monocotyledonea
Sub. Clase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Subfamilia	: Pooideae
Tribu	: Festuceae
Genero	: Festuca
Especie	: <i>Festuca dolichophylla</i>
Nombre común	: "Chillihua", "Chilliwa", "Ccoya" y "Ichu-Chillihua"

*Nota.* La tabla Jerarquía taxonómica de *Festuca dolichophylla*. Tomado de (Benavides, 1977).

### 2.2.5. Parámetros fisicoquímicos del suelo

Los metales cuya densidad excede los 5 g/cm<sup>3</sup> se clasifican como metales pesados (MP), y hasta la fecha se han identificado 53 de estos elementos entre los 90 presentes en la naturaleza. Estos metales se caracterizan por su alta densidad y su persistencia en el medio ambiente, lo que hace que sean difíciles de eliminar del suelo. Su presencia representa un riesgo significativo para los organismos vivos. La exposición prolongada a metales pesados, especialmente a través de la ingestión de cultivos contaminados, puede dar lugar a diversas enfermedades crónicas y agudas

en los seres humanos, como trastornos respiratorios, problemas nerviosos, renales, cardiovasculares y óseos (Shahzad et al., 2024).

Asimismo, los metales pesados resultan perjudiciales para el suelo, ya que impactan de forma negativa en el desarrollo de microorganismos, vegetación y fauna. Estos elementos interactúan con los coloides del suelo, alterando la estructura de los granos del mismo. La contaminación crónica por metales pesados puede ser especialmente perjudicial para los ecosistemas del suelo, al destruir la biodiversidad y alterar el equilibrio ecológico (Su et al., 2024).

El plomo es un componente que se halla de forma natural en la corteza terrestre, pero se utiliza en diversas aplicaciones industriales, agrícolas y domésticas. El plomo es uno de los elementos venenosos universalmente reconocidos en el suelo (Naveed, 2023). En los niños, el plomo puede retrasar el desarrollo mental e intelectual, mientras que en los adultos puede causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares. En comparación con otros contaminantes, el plomo es altamente persistente en el suelo debido a su baja solubilidad, lo que representa varios riesgos para la salud humana una vez absorbido, el plomo se distribuye en diversos órganos y tejidos, como los riñones, el hígado, el cerebro y los huesos. Debido a su similitud con el calcio, el plomo tiende a acumularse principalmente en el tejido óseo ((AAFCO) Association American feed Control Officials, 1996).

El cadmio se considera uno de los metales traza más móviles y peligrosos en el suelo por su elevada solubilidad. Aunque basta con concentraciones mínimas para causar daño en las plantas, sus efectos sobre la salud humana son incluso más graves. El cadmio puede acumularse en el cuerpo, especialmente en los riñones, ya que su eliminación es lenta. Esta acumulación puede causar problemas renales, alteraciones óseas y disfunciones reproductivas, y no se puede descartar que también tenga propiedades carcinógenas ((AAFCO) Association American feed Control Officials, 1996). En su estado oxidado, el cadmio es soluble, pero bajo condiciones reductoras se convierte en sulfuro de cadmio, el cual precipita (Volke et al., 2005).

La absorción de cadmio por los animales es limitada, especialmente en los rumiantes (Underwood & Suttle, 1999), donde la absorción no supera el 1%. Sin embargo, la retención en el organismo es alta, concentrándose principalmente en los riñones, donde su permanencia puede extenderse por varios años. En el caso de animales

destinados al consumo, cuyo periodo de crianza es corto particularmente los monogástricos, la acumulación de cadmio será mínima bajo condiciones normales de manejo.

El arsénico (As) es el vigésimo elemento más abundante en la corteza terrestre (Bakhat et al., 2019) y es uno de los metales más tóxicos, ingresa a la cadena alimentaria a través de la ingesta de alimentos contaminados con As y daña la vida de los seres vivos, especialmente los seres humanos (Khan et al., 2021).

Según (AAFCO) Association American feed Control Officials, 1996), teriormente la principal fuente de arsénico en la alimentación animal provenía de aditivos promotores del crecimiento como el ácido arsanílico. Sin embargo, al ser retirados del mercado, las fuentes actuales más relevantes son el agua contaminada, vegetales cultivados en suelos con presencia de arsénico y productos marinos. Los animales domésticos toleran concentraciones de hasta 50 mg/kg, un valor significativamente mayor al permitido en agua potable o por la normativa europea. Aunque el arsénico se absorbe fácilmente, se elimina en gran parte por la orina, lo que reduce su acumulación. Según la EPA (1998), el riesgo de intoxicación por arsénico en humanos se asocia principalmente al consumo de agua o pescado, y rara vez a productos derivados de animales domésticos.

### Tabla 3

Niveles máximos recomendables de metales pesados en alimentos

((AAFCO) Association American feed Control Officials, 1996)

Categoría	Metal	Nivel máximo (mg/kg)
Almamente toxico	- Cadmio	10
	- Mercurio	
	- Selenio	

Toxico	- Bario	40
	- Cobalto	
	- Cobre	
	- Plomo	
	- Molibdeno	
	- Tungsteno	
Moderadamente toxico	- Vanadio	400
	- Antimonio	
	- Arsénico	
	- Yodo	
Ligeramente toxico	- Níquel	1000
	- Aluminio	
	- Boro	
	- Bromo	
	- Bismuto	
	- Cromo	
	- Magnesio	
	- zinc	

En el territorio español, se encuentra establecido en el Real Decreto 747/2001 del 29 de junio, cuyos datos se presentan en la Tabla 4. Los valores para las materias primas y los piensos complementarios presentan ligeras diferencias.

**Tabla 4**  
Contenidos máximos de metales según D.C. 747/2001.

Metal	Contenido máximo (mg/kg)
Arsénico	2
Plomo	5
Flúor	100-350
Mercurio	0.1
Cadmio	0.5-1.0

### **Parámetros físicos del suelo**

El pH del suelo desempeña un papel fundamental en la influencia sobre la movilidad y toxicidad de los metales pesados. En suelos con pH ácido, la disponibilidad de estos metales suele ser mayor en comparación con suelos alcalinos. No obstante, existen excepciones en elementos como el cromo, arsénico, molibdeno y selenio, los cuales presentan una mayor disponibilidad en suelos alcalinos (Borjas et al., 2020).

Por otro lado, la textura del suelo determinada por la proporción de arena, limo y arcilla, permite su caracterización granulométrica. La fracción arcillosa es clave en la retención de metales pesados, ya que facilita su adsorción; mientras que los suelos con alto contenido de arena favorecen el movimiento de estos contaminantes hacia capas más profundas, como el subsuelo o las aguas freáticas (Reyes & Avendaño, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está influenciada por el tipo de arcillas presentes, la cantidad de materia orgánica y las propiedades de los metales como su valencia y el radio iónico hidratado. En general, los metales pesados tienden a ser menos retenidos en suelos con partículas más grandes y menor valencia, ya que estas características reducen la probabilidad de que dichos metales queden fijados en el suelo (Galán & Romero, 2008).

### **2.2.6. Pasivo ambiental minero**

De acuerdo a la Ley 28271, artículo 2 (Congreso de la Republica, 2004; Shmaefsky, 2020), los pasivos ambientales se describen como estructuras, vertimientos, emisiones, desechos o acumulaciones resultantes de operaciones mineras que, a

pesar de encontrarse inactivos o abandonados en la actualidad, continúan representando una amenaza latente para la salud humana, el entorno natural y las infraestructuras o bienes ubicados en sus proximidades.

Una gestión inadecuada de estos residuos mineros puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud humana, causando daños a los sistemas nervioso y endocrino debido a las altas concentraciones de metales pesados (Borjas et al., 2020), su bioacumulación a lo largo de la cadena alimentaria (López, 2016). El Artículo 6 de la Ley 28271 establece que los responsables de la remediación de pasivos ambientales deben llevar a cabo estudios y acciones (Congreso de la Republica, 2004).

### **2.2.7. Definiciones de términos**

- **Auxinas**

Las auxinas son hormonas vegetales clave que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Su principal función es estimular el alargamiento celular, especialmente en los tallos. Estas hormonas también intervienen en procesos como el fototropismo (respuesta de la planta a la luz) y el gravitropismo (respuesta a la gravedad), permitiendo que la planta oriente su crecimiento adecuadamente (Martínez et al., 2016)

- **Biomagnificación**

La biomagnificación es un fenómeno en el que las concentraciones de contaminantes se elevan en los tejidos de organismos situados en los niveles superiores de la cadena alimentaria (Motuzova et al., 2014).

- **Biomasa**

La biomasa vegetal se refiere al peso de la planta en términos de materia seca, que se produce a partir de la asimilación de carbono. Aproximadamente el 90% de esta biomasa proviene de la incorporación de carbono en compuestos orgánicos mediante el proceso de fotosíntesis (Espinoza, 2001).

- **Fitorremediación de suelo**

La fitorremediación incluye diversas técnicas para descontaminar suelos utilizando plantas. Estas técnicas permiten que las plantas acumulen elementos tóxicos en sus estructuras o reduzcan su peligrosidad (Thomson, 1975).

- **Propagación**

Se refiere al proceso de reproducción y aumento en número de los organismos, ya sea mediante métodos sexuales o asexuales (Rodríguez et al., 2009).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. **Ámbito de estudio**

La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca, que se encuentra en el distrito de Juliaca, en la provincia de San Román, dentro de la región de Puno.



Figura 5. Mapa de ubicación del laboratorio (ArcGIS 10.5).

Fuente: Elaboración propia, (2025)

## 3.2. Diseño metodológico

### 3.2.1. Tipo y nivel de investigación

En concordancia con el rigor científico, se caracteriza por tipo de investigación experimental, en el cual se manipulo de forma deliberada dos variables independientes, para observar sus efectos en la variable dependiente.

De la misma forma por la profundidad de estudio, es de nivel aplicativo, ya que se realizó con un fin practico, por ello se realizó las intervenciones con reguladores de crecimiento (Acido 3-inodolbutirico y Kinetina) en las especies de (*Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* ) que han sido expuestas a suelos contaminados del pasivo ambiental minero.

### 3.2.2. Diseño de investigación

La descripción de un enfoque de investigación depende del tipo de estudio que se llevará a cabo y de la hipótesis que se intentará comprobar a lo largo del proceso investigativo. La investigación adopta el Diseño de Bloque Completamente al Azar (DCA). Donde el diseño en bloques completamente al azar consiste en ejercer un control a las variables adicionales al factor de interés que se incorporan de manera explícita al tratamiento de las unidades experimentales de cada bloque con finalidad estudiar de manera adecuada y eficaz al factor de interés. El cual se realizó con un arreglo factorial 2x3x2, con 6 tratamientos y una réplica por cada regulador de crecimiento vegetal aplicados a la especie fitorremediadora, haciendo un total 12 unidades experimentales y dos de control.

En la siguiente investigación se aplicó el modelo estadístico lineal aditivo para el Diseño Completamente al Azar (DCA), es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$y_{ijk}$  : Medición que corresponde al tratamiento i y al bloque j.

$\mu$  : Media general del contenido de metales pesados en plantas herbáceas.

$\alpha_i$  : Efecto de los tratamientos, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8.

$\beta_j$  : Efecto de las especies vegetales evaluados en el bloque j = 1, 2, 3, 4.

$\alpha\beta_{ij}$  : Interacción del tratamiento con las especies de los niveles  $\alpha_i$  y  $\beta_j$ .

$\varepsilon_{ijk}$  : Componente del error aleatorio [N (0,  $\sigma^2$ )].

### A. Factores de estudio

Especies herbáceas

Tabla 5

Especies herbáceas

<b>Especie</b>	<b>Código</b>
<i>Pennisetum clandestinum</i>	A1
<i>Festuca dolichophylla</i>	A2

Fuente: Elaboración propia, (2025).

*Nota.* La tabla representa la codificación. Elaboración propia.

- **Reguladores de crecimiento vegetal**

Tabla 6

Dosis de aplicación de los reguladores de crecimiento

<b>Regulador de crecimiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Código</b>
Ácido 3-inodolbutirico	1 mg/L	B11
	5 mg/L	B12
	10 mg/L	B13
Kinetina	1 mg/L	B21

5 mg/L B22

10 mg/L B23

Fuente: Elaboración propia, (2025).

*Nota.* Dosis de aplicación de los reguladores de crecimiento.

- **Tratamientos del estudio**

**Tabla 7**

Tratamientos de las aplicaciones de reguladores de crecimiento vegetal

Factores en Estudio		Interacción	Tratamiento	Interacción	Tratamiento
Especies	Dosis	Ácido 3-inodolbutirico		Kinetina	
	B11	A1B11	T1	A1B21	T1
A1	B12	A1B12	T2	A1B22	T2
	B13	A1B13	T3	A1B23	T3
	B11	A2B11	T4	A2B21	T4
A2	B12	A2B12	T5	A2B22	T5
	B13	A2B13	T6	A2B23	T6

Fuente: Elaboración propia, (2025).

*Nota.* La tabla representa las aplicaciones de regulador de crecimiento vegetal.

Elaboración propia.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

La población de estudio en la presente investigación está conformada por dos componentes principales:

- Las especies herbáceas *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, seleccionadas por su potencial fitorremediador.
- El suelo contaminado por pasivo ambiental minero del distrito de Mañazo,

afectado por la actividad minera.

### **3.3.2. Muestra**

#### **a. Muestra vegetal**

La recolección de ejemplares de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* se realizó en el distrito de Capachica, utilizando un muestreo no probabilístico. Se seleccionaron especímenes con órganos completos tanto vegetativos como reproductivos para garantizar una adecuada representación morfológica y fisiológica de cada especie.

Se obtuvieron 14 muestras en total, las cuales fueron colocadas en bolsas herméticas y transportadas en un cooler al Laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca, donde se procedió a su establecimiento y propagación mediante cultivo in vitro.

#### **b. Muestra de suelo**

La recolección de muestras de suelo se realizó en la zona del pasivo ambiental minero del distrito de Mañazo, siguiendo los lineamientos de la Guía para el Muestreo de Suelos (R.M. N.º 085-2014-MINAM). Se efectuaron muestreos en 9 puntos superficiales y 3 puntos a distintas profundidades, con el objetivo de caracterizar adecuadamente las condiciones edáficas del sitio de estudio.

La evaluación de las características físicas y químicas del suelo se llevó a cabo conforme al Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos (D.S. N.º 013-2010-AG), lo que permitirá determinar su grado de contaminación y adecuación para los ensayos de fitorremediación.

### **3.3.3. Insumos**

Plantas de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, reguladores de crecimiento, ácido 3-indolbutírico ( $C_{12}H_{13}NO_2$  al 98%) 0.02 N, Kinetina ( $C_{10}H_9N_5O$  al 99%) 0.02N, ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$  al 96%) 0.02N, Hidróxido de sodio (NaOH al 99%) 1N, ácido clorhídrico (HCl), agar de MS (Murashige y Skoog), agua destilada, Etanol, los reactivos que se utilizaron fue de grado analítico.

### 3.3.4. Materiales

Matraz Erlenmeyer 500ml (pírex), frasco de vidrio, pro pipeta (Boeco), varilla de vidrio, pizeta, algodón, vasos de precipitado brand de 500 mL (Kimax®), jeringas de 5mL (genérico), guantes de látex (Medilatex), papel Kraft, papel toalla, cinta masking, pinza, bisturí, probeta (pírex).

### 3.3.5. Equipos

Multiparámetro (Hanna), conductímetro (Starter 300c, estufa de esterilización de 150L modelo digital de tiempo de espera e incubación (0-99h.) programables (Raypa), balanza analítica de capacidad de 220 g; legibilidad de 0,1 mg; pantalla táctil de 4,5" (Mettler Toledo), Autoclave programable (raypa), Cabina de bioseguridad clase II A2, cámara de crecimiento, laptop CORE I5 (HP).

## 3.4. Hipótesis

### 3.4.1. Hipótesis general

La aplicación de reguladores de crecimiento vegetal en las especies *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* incrementa su capacidad fitorremediadora en suelos contaminados por pasivos ambientales mineros, evidenciado por un mayor factor de bioacumulación y traslocación de Pb, Cd y As, así como una reducción significativa en la concentración de estos metales en el suelo

### 3.4.2. Hipótesis específicas

- *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* muestran una alta capacidad de propagación in vitro mediante el uso de reguladores de crecimiento vegetal, lo cual permite su uso eficiente en procesos de fitorremediación.
- Los reguladores de crecimiento vegetal influyen positivamente en parámetros fisiológicos relacionados con la fitorremediación en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*
- La aplicación de reguladores de crecimiento vegetal mejora los factores de bioacumulación y traslocación de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cultivadas en suelos contaminados por pasivos ambientales mineros.

- *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, con el uso de reguladores de crecimiento vegetal, son eficientes en reducir la concentración de Pb, Cd y As en suelos contaminados, alcanzando reducciones superiores al 70 %.

### 3.5. Metodología

#### a. Fundamentación

Según Volke et al. (2005), las especies *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* son especialmente adecuadas para la fitorremediación. Estas especies fueron seleccionadas por su amplio rango de tolerancia, su rápida propagación y su capacidad para desarrollar una cobertura vegetal densa, características que también han sido destacadas por (Jurado & Westoby, 1992). Además, se consideró su habilidad para sobrevivir en condiciones adversas y su alta abundancia tal como señalan (Núñez et al., 2004).

En este contexto, se llevó a cabo un estudio para la recuperación del suelo contaminado en el pasivo ambiental minero de la concesión minera Ares S.A.C., ubicada en la cuenca Illpa, distrito de Mañazo, provincia de Puno. Este estudio es crucial debido a que las concentraciones de metales pesados y el impacto ambiental generado representan un riesgo para la salud de los pobladores. Para potenciar la fitorremediación, se implementaron reguladores del crecimiento vegetal, utilizando *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* como especies clave en el proceso.

#### b. Fases

El presente trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas: la etapa de propagación y la etapa de tratamiento.

La etapa de propagación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de propagación de las dos especies seleccionadas. Esta fase incluyó actividades como el cultivo in vitro en el laboratorio, la selección y herborización de las especies, las pruebas de germinación y la reproducción vegetativa, todas ellas realizadas con el uso de reguladores de crecimiento.

Por otro lado, la etapa de tratamiento se centró en evaluar la eficiencia de adsorción de los metales pesados Pb, Cd y As en el suelo contaminado, utilizando *Pennisetum*

*clandestinum* y *Festuca dolichophylla*. Las actividades de esta fase comprendieron el análisis químico de las muestras, así como la determinación del Factor de Traslocación (TF) y el Factor de Bioconcentración (BCF).

### **3.5.1. Evaluar la capacidad de propagación por cultivo in vitro de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, aplicando los reguladores de crecimiento.**

Para evaluar la capacidad de fitorremediación, se inició con el cultivo in vitro de las especies seleccionadas (*Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*). Este proceso permitió observar su capacidad de germinación y crecimiento bajo condiciones controladas, lo cual es esencial para determinar su viabilidad en suelos contaminados. A través de esta etapa, se buscó optimizar las condiciones de cultivo y establecer las bases para su propagación y posterior implementación en el tratamiento del suelo contaminado. Durante el cultivo in vitro, se utilizaron reguladores del crecimiento vegetal para potenciar el desarrollo de las plantas y facilitar su adaptación a las condiciones adversas del entorno.

#### **FASE I. Fase de Propagación**

##### **a. Recolección de especies**

La colecta se llevó a cabo en el distrito de Capachica, ubicado en la provincia y departamento de Puno, una región conocida por su diversidad florística y por ser un área de interés para estudios ecológicos y ambientales, donde la presencia de estas especies es abundante en este entorno, lo que las hace representativas de la región. La recolección de muestras se realizó siguiendo un protocolo de muestreo estandarizado, el cual garantizó que las muestras fueran representativas de las condiciones naturales de las plantas en su hábitat (Montesinos, 2020).

Una vez recolectadas, las muestras fueron cuidadosamente transportadas en un cooler, evitando que los cambios de temperatura o el tiempo de traslado alteraran las condiciones de las plantas. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca para el cultivo in vitro.

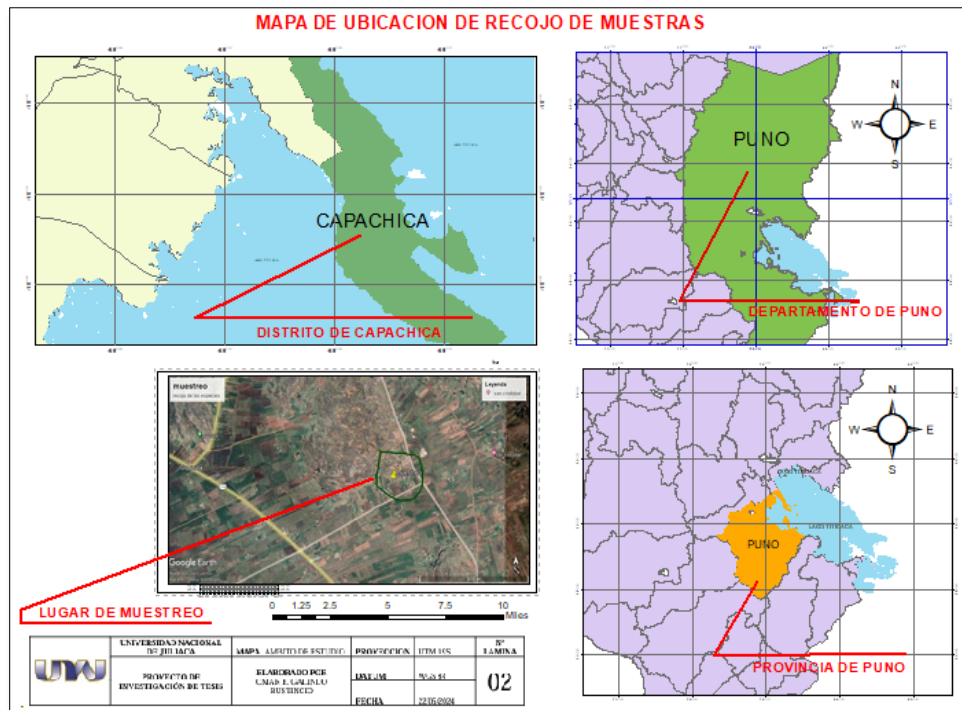


Figura 6. Mapa de ubicación de muestreo de especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

Fuente: Elaboración propia, (2025).

### b. Extracción y desinfección de explante

El proceso de cultivo in vitro de las especies seleccionadas comenzó con la organogénesis directa, una técnica que implica la propagación de las plantas a través de segmentos nodales siguiendo el protocolo de micropropagación según (Rodríguez et al., 2021). Esta vía fue elegida debido a su alta eficiencia y rapidez en la regeneración de plantas a partir de explantes vegetales, lo que resulta crucial para la obtención de un número adecuado de plantas en un corto período de tiempo.

El primer paso del proceso fue la desinfección superficial de los explantes, lo cual es esencial para prevenir la contaminación microbiana durante el cultivo in vitro. Inicialmente, los segmentos nodales fueron cuidadosamente lavados con agua corriente para eliminar residuos visibles y cualquier posible material orgánico adherido a las superficies externas. Este paso inicial reduce la carga microbiana superficial y prepara los explantes para los tratamientos posteriores.

A continuación, se procedió a la desinfección química utilizando una solución de etanol a 70°, que se aplicó durante un breve período de tiempo para eliminar microorganismos superficiales sin dañar los tejidos vegetales.

El siguiente paso consistió en aplicar una solución de hipoclorito de sodio en concentraciones variables (entre el 1% y el 3%), manteniendo los explantes en esta solución durante un rango de tiempo de entre 10 y 20 minutos. Durante este tratamiento, se añadió tensioactivos a la solución de hipoclorito de sodio. Los tensioactivos son sustancias que disminuyen la tensión superficial del líquido, lo que facilita la penetración del desinfectante en las superficies de los explantes, mejorando la eficacia del proceso de desinfección y asegurando que los agentes patógenos sean eliminados de manera más eficiente.

Después de la exposición al hipoclorito de sodio, los explantes fueron sometidos a tres enjuagues sucesivos con agua destilada estéril, realizados en una cámara de transferencia. Este paso es fundamental para eliminar cualquier residuo de los agentes químicos utilizados en la desinfección, garantizando que los explantes no queden contaminados con productos que podrían inhibir su desarrollo o interferir con el posterior cultivo en medios de regeneración. La cámara de transferencia se utilizó para evitar la exposición a contaminantes ambientales durante el proceso de enjuague y para asegurar que se mantuvieran condiciones estériles.

Este protocolo de desinfección fue diseñado siguiendo las recomendaciones de Sharry et al. (2020), quienes subrayan la importancia de un tratamiento efectivo para asegurar el éxito de los cultivos in vitro. La correcta eliminación de contaminantes microbianos es un paso crucial para el éxito de la regeneración de plantas, ya que una contaminación persistente podría comprometer la viabilidad de los explantes y el posterior crecimiento en el medio de cultivo.

### **c. Cultivo in vitro**

Después de la desinfección de los explantes, los segmentos nodales de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* fueron cultivados en frascos de vidrio con un medio de cultivo gelificado de Murashige & Skoog (MS), al que se le añadieron reguladores de crecimiento específicos para inducir la proliferación y el desarrollo de los brotes. El medio MS proporciona una mezcla balanceada de nutrientes esenciales como sales minerales, vitaminas y aminoácidos, necesarios para el crecimiento y

desarrollo de las plantas en condiciones *in vitro*. Los reguladores de crecimiento, tales como auxinas (para estimular la formación de raíces) y citoquininas (para promover la formación de brotes), se ajustaron en concentraciones específicas para optimizar la micropropagación de ambas especies.

El proceso de siembra de los explantes en el medio de cultivo se realizó en una cámara de desinfección o bioseguridad, un espacio controlado diseñado para mantener condiciones estériles y evitar la contaminación microbiana durante las primeras etapas del cultivo. La cámara de bioseguridad es fundamental para garantizar que los explantes no se vean contaminados por agentes patógenos durante su manipulación y transferencia al medio de cultivo.

Para evaluar la capacidad de propagación de ambas especies, se utilizaron un total de 20 muestras, lo que permitió realizar un análisis estadístico de su capacidad de regeneración. La propagación se realizó siguiendo el protocolo establecido por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), que es una metodología estandarizada para la micropropagación de especies vegetales en condiciones controladas, y ha sido validada en investigaciones previas para garantizar su efectividad.

En la Figura 7 se presentan las fases de la micropropagación *in vitro* a las que fueron sometidas las dos especies vegetales. Estas fases incluyen la inducción de brotes a partir de los segmentos nodales, el establecimiento en el medio de cultivo para la formación de raíces y la multiplicación vegetativa. El objetivo principal de este proceso fue asegurar que las plantas obtenidas estuvieran libres de contaminantes, uniformizadas y suficientemente desarrolladas para ser utilizadas en el proceso de fitorremediación.

Una vez que los explantes fueron transferidos al medio, se llevó a cabo una incubación controlada en una cámara de crecimiento a 25°C, con un ciclo de luz y oscuridad de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Las condiciones ambientales dentro de la cámara de crecimiento fueron cuidadosamente monitorizadas para asegurar el óptimo desarrollo de las plantas. La densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) proporcionada por las lámparas de luz fue de  $80.4 \pm 3,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , lo que representa una intensidad luminosa adecuada para la fotosíntesis y el desarrollo de las plantas.

Además, la humedad relativa dentro de la cámara se mantuvo constante en un 80%, lo que favorece el establecimiento de las plantas sin provocar deshidratación.

#### **d. Trasplante a maceteros individuales**

Después de un mes de micropropagación in vitro en la cámara de crecimiento, se procedió al trasplante de las plantas. Este proceso implicó trasladar cuidadosamente los explantes desde los frascos de propagación, donde se encontraban creciendo en el medio de cultivo gelificado, a maceteros con sustrato adecuado para su desarrollo ex vitro. El objetivo principal del trasplante fue proporcionar a las plantas un entorno más espacioso y natural, que les permitiera continuar su crecimiento y adaptación en condiciones más cercanas a las del medio ambiente, favoreciendo su desarrollo hacia un estado más robusto y resistente (Vidal & Rojas, 2014).



Figura 7. Proceso de cultivo in vitro.

Fuente: Elaboración propia, (2025).

## **Fase II: Tratamiento**

### **a. Recolección de sustrato**

La segunda fase del estudio se centró en la recolección del sustrato en el pasivo ambiental minero ubicado en el distrito de Mañazo, dentro de la Cuenca de Illpa, en la Provincia de Puno. Esta fase fue fundamental para obtener una caracterización detallada del suelo

contaminado y determinar su idoneidad para la fitorremediación. Dado que el pasivo ambiental minero presenta un alto riesgo de contaminación debido a las actividades mineras previas, el análisis de las características del suelo en diferentes áreas y profundidades fue esencial para el diseño del plan de remediación.

Se empleó un muestreo compuesto para recolectar muestras representativas de distintas zonas del pasivo ambiental, asegurando que se tuviera una visión integral de las condiciones del suelo, para el muestreo de suelo se siguieron las directrices del ministerio del ambiente (MINAM, 2014). El muestreo compuesto es un método organizado que implica recoger varias muestras de diferentes puntos dentro de un área específica y luego combinarlas en una muestra única, lo que permite obtener una representación más precisa y confiable de las características del suelo en esa área. Este método es ampliamente utilizado en estudios de contaminación para reducir el sesgo y mejorar la precisión del análisis.

El muestreo se llevó a cabo en dos niveles diferentes para evaluar tanto las concentraciones superficiales como las de profundidad, lo que permitió comprender mejor la distribución de los contaminantes en el suelo. En total, se seleccionaron 9 puntos de muestreo superficial, distribuidos en las zonas más representativas del pasivo minero. Estos puntos fueron seleccionados en función de la proximidad a las áreas más afectadas por los residuos mineros, tomando en cuenta tanto las variaciones en el terreno como la posible dispersión de contaminantes debido a procesos como la lixiviación o la erosión.

Además de los puntos superficiales, se tomaron 3 puntos de muestreo a mayor profundidad, ubicados a diferentes niveles en el perfil del suelo, para analizar las concentraciones de contaminantes en las capas más profundas. Este enfoque fue clave para evaluar cómo los contaminantes, como metales pesados (por ejemplo, plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As)), pueden haber penetrado en el suelo y se han distribuido en diferentes profundidades, ya que las capas más profundas pueden presentar concentraciones más altas de contaminantes debido a los procesos de acumulación y lixiviación.

Las muestras que se recogieron fueron etiquetadas con cuidado y llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca, donde fueron analizadas de manera meticulosa desde un enfoque físico-químico. Este examen abarcó la evaluación de diversos parámetros, tales como la distribución del tamaño de partículas, el pH, la conductividad

eléctrica, y también las concentraciones de metales pesados en las muestras del suelo, empleando técnicas como la espectrometría de absorción atómica (AA) y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los hallazgos de estos análisis resultaron esenciales para desarrollar un perfil detallado de la contaminación en el entorno afectado por la minería.

Los datos obtenidos del análisis del sustrato sirvieron para calcular las concentraciones iniciales de contaminantes, lo que permitió determinar los niveles de referencia y las áreas más críticas que requerían intervención. Estos datos también fueron utilizados para diseñar las condiciones de fitorremediación, en las que las especies seleccionadas (*Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*) podrían ser implementadas de manera eficiente para remover o estabilizar los contaminantes en el suelo.

El proceso de muestreo y análisis de las características del suelo es clave no solo para entender la extensión y gravedad de la contaminación, sino también para diseñar estrategias de remediación más efectivas. Esta fase proporcionó la información necesaria para planificar las actividades de la siguiente fase del estudio, que involucró la implementación de las especies vegetales seleccionadas en el pasivo ambiental minero, con el fin de evaluar su capacidad para la fitorremediación del suelo contaminado.



Figura 8. Mapa de ubicación de pasivo Ambiental minero. Tomado de Google Earth.

#### **b. Trasplante de las especies a bandejas con suelo contaminado**

Después de un mes de aclimatación de las dos especies vegetales (*Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*), se procedió a su trasplante en 14 maceteros, distribuyendo las plantas de forma homogénea para garantizar condiciones similares de crecimiento. A cada macetero se le aplicaron tres dosis distintas de reguladores de crecimiento, específicamente ácido indolbutírico (IBA) y kinetina, a concentraciones de 1.5 y 10 mg/L por especie. Estas concentraciones fueron seleccionadas para evaluar su impacto en el crecimiento de las plantas y su capacidad para llevar a cabo la fitoremediación.

Durante todo el desarrollo experimental, se implementó un riego localizado, aplicando 10 ml de agua cada dos días en cada macetero. Este riego controlado permitió mantener condiciones estables de humedad para las plántulas, asegurando que tanto *P. clandestinum* como *F. dolichophylla* pudieran llevar a cabo sus procesos fisiológicos de manera eficiente, incluidos los de absorción y acumulación de metales pesados.

El experimento tuvo una duración de 180 días. Durante este tiempo, las plantas fueron expuestas a condiciones que permitieron evaluar su habilidad para absorber y almacenar metales pesados presentes en el suelo, un proceso fundamental en la fitoremediación. Al concluir los 180 días, se recolectaron muestras del suelo y de las plantas para su análisis en el laboratorio Bhios, situado en la ciudad de Arequipa. En el laboratorio, se midieron los niveles de metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en ambas muestras (suelo y planta), con la finalidad de comprobar la efectividad de las especies en la eliminación de estos contaminantes del suelo.

La capacidad de propagación de las especies se evaluó utilizando los ítems establecidos en la Tabla 8 durante el cultivo in vitro. Para ello, se registraron los datos correspondientes a los 15 y 30 días de cultivo. La medición de la longitud de los brotes se realizó con una regla, lo que permitió obtener valores precisos. Estos datos fueron fundamentales para analizar el crecimiento y la tasa de propagación de las plantas bajo las condiciones experimentales.

**Tabla 8**

Propagación por cultivo in vitro

<b>Propagación</b>	<b>Índice</b>
Vigor de sobrevivencia	%

Vigor de enraizamiento	%
Numero de brotes	Cm
Longitud de la raíz	Cm
Longitud del tallo	Cm

Fuente: Elaboración propia, (2025).

**Nota.** La Tabla 8 muestra los resultados de la capacidad de propagación obtenida mediante cultivo in vitro. Elaboración propia.

### **Vigor de sobrevivencia**

Para calcular el total de vigor de sobrevivencia, se registró cada plántula que surgió hasta el último día de la evaluación. Se realizó el cálculo dividiendo el total de plántulas que emergieron entre la cantidad total de plantas sembradas, y luego se multiplicó por 100. Este método permitió determinar el porcentaje de plantas que sobrevivieron y se desarrollaron adecuadamente durante el tiempo de cultivo in vitro.

$$\%VS = \frac{N^{\circ}Plan. emergidas}{N^{\circ}Total de plan. Sembradas} * 100$$

VS: vigor de sobrevivencia

### **3.5.2. Determinar la influencia de los reguladores de crecimiento sobre la fisiología vegetal de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en la fitorremediación del suelo contaminado por el pasivo ambiental minero.**

#### **a. Altura de la planta**

La altura de las especies se midió cada 15 días, registrando la altura máxima de las plantas. Para ello, se utilizó una regla y un escalímetro, herramientas que permitieron obtener mediciones precisas y consistentes a lo largo del período de evaluación. Estos datos fueron cruciales para monitorear el crecimiento de las especies durante el experimento.

#### **b. Cantidad de hojas**

La cantidad de hojas de cada especie vegetal se determinó mediante el conteo de las hojas presentes en cada planta, realizándose este conteo cada 15 días durante un período de 6 meses.

**c. Tamaño de la raíz**

El tamaño de la raíz fue evaluado con una regla, registrando la longitud de las raíces de las plantas cada 30 días durante un período de seis meses. Este seguimiento facilitó la observación del crecimiento y el desarrollo radicular de las especies a lo largo del experimento.

**d. Determinación del porcentaje de humedad de la planta y suelo**

La humedad de las muestras se determinó en el laboratorio mediante un proceso de secado en estufa. Las muestras que se enviaron se expusieron a una temperatura fija de 105 °C hasta que se logró un peso constante. Una vez secas, las muestras fueron pesadas y se utilizó la siguiente fórmula para calcular el contenido de humedad:

$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

Pi: peso inicial de la muestra (peso fresco).

Pf: peso final de la muestra (peso seco).

**3.5.3. Determinar el factor de Traslocación y Bioacumulación de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero.**

Al finalizar el proceso de fitorremediación (180 días después de la instalación), se llevó a cabo el análisis de Pb, As y Cd en muestras separadas de raíces y partes aéreas (tallos y hojas) de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*. Este análisis se realizó en el Laboratorio Bhios, utilizando dos métodos: Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES) y espectrofotometría de absorción atómica según el método Bhios-FQ.

Con la información recogida se llevó a cabo el cálculo del Factor de Bioacumulación, que se determina como la relación entre el contenido de Pb, As y Cd en las raíces y la parte aérea de las plantas de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, en comparación con el contenido de estos metales en el suelo. Asimismo, se calculó el Factor de Translocación, que refleja la relación entre el contenido de Pb, As y Cd en la parte aérea de las plantas y el contenido de estos metales en las raíces. Ambos factores se determinaron utilizando las fórmulas que se presentan a continuación:

**Factor de traslocación (FT)**

Según Cruzado et al. (2021), refiere la categorización de la planta según FT.

Si el  $TF > 1$ , hiperacumuladora

Si el  $TF < 1$ , Estabilizadora

$$TF = \frac{C_{AP}}{C_{RP}} \dots\dots\dots (1)$$

**DONDE**

**TF:** Factor de Traslocación.

$C_{AP}$  : Concentración del metal en la parte aérea de la planta (mg/Kg).

$C_{RP}$  : Concentración del metal en la raíz de la planta (mg/Kg).

**Factor de bioconcentración (BCF)**

Según Cruzado et al. (2021), refiere la categorización de la planta según BCF.

Indicadora:  $C_{Suelo} > C_{planta}$

Tolerante:  $C_{planta} > C_{suelo}$

$$BCF = \frac{C_{Planta}}{C_{Suelo}} \dots\dots\dots (2)$$

**DONDE**

**BCF:** Factor de Bioconcentración.

$C_{Planta}$ : Concentración en el tejido de la planta.

$C_{Suelo}$  : Concentración del metal en el suelo.

### 3.5.4. Determinar la eficiencia de adsorción de Pb, Cd y As de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

#### a) Determinación de parámetros químicos

Los parámetros químicos presentados en la Tabla 9 fueron determinados utilizando la metodología de Digestión EPA METHOD 6020 B, un método para identificar metales en muestras de suelo. Para la medición de los metales totales, se utilizó la técnica de ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry), que permite una detección precisa y cuantificación de los metales. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Bhios, a la ciudad de Arequipa, para su análisis.

**Tabla 9**

Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros fisicoquímicos	Método
Temperatura	Termómetro
Ph	Multiparámetro
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Granulometría y textura	Método de Bouyoucos
Arsénico	
Cadmio	Método EPA METHOD 6020 Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplada inductivamente
Plomo	

*Nota.* La tabla representa los parámetros con sus respectivos métodos. Elaboración propia.

#### b) Determinación de parámetros físicos

Los parámetros físicos del suelo, como el Ph y la temperatura, se determinaron utilizando un equipo multiparámetro, que permite medir varios parámetros de manera simultánea. La conductividad eléctrica del suelo se midió con un conductímetro, equipo específico para este tipo de análisis.

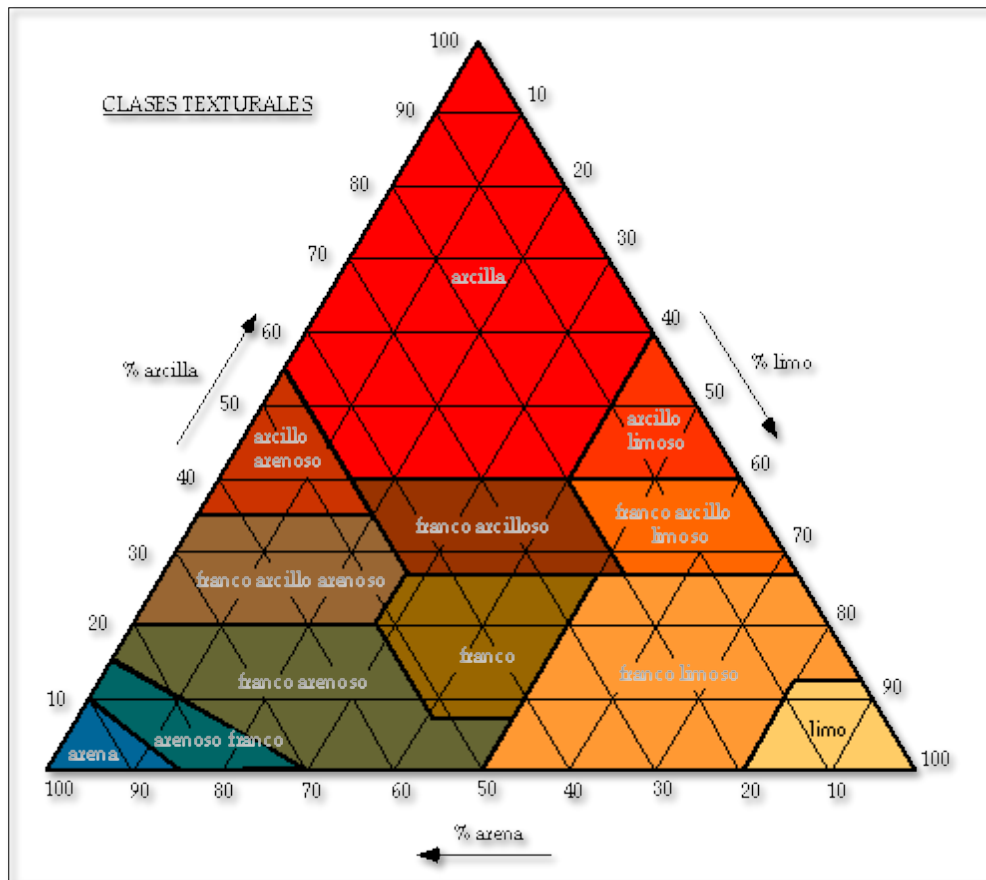
- **Determinación de PH**

Para la determinación del Ph del suelo, se disolvió 1 gramo de suelo en 25 ml de agua destilada, y se vertió la mezcla en un vaso precipitado. Luego, se utilizó un equipo multiparámetro para medir el Ph de la solución.

- **Metales pesados**

Para determinar los metales pesados presentes en las muestras de suelo, específicamente arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb), fueron enviados al laboratorio Bhios de Arequipa para su análisis.

Por otro lado, la composición granulométrica y textura del suelo fueron analizados en el laboratorio general de la UNAJ. Para la determinación de la textura, se utilizó el método de Bouyoucos, un procedimiento estándar que permite clasificar el suelo en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla. Los análisis se realizaron tanto para el suelo de pasivo ambiental minero como para el suelo tratado. Posteriormente, los resultados se compararon con el Diagrama Textural de la USDA, herramienta que facilita la clasificación de los suelos en clases texturales según la proporción de estos tres componentes.



Fuente: (United States Department of Agriculture ,1951)

Figura 9. Diagrama textural de la USDA.

**c) Flujograma de procesos**

El flujograma de germinación y propagación, procesos de tratamiento de la fitorremediación.

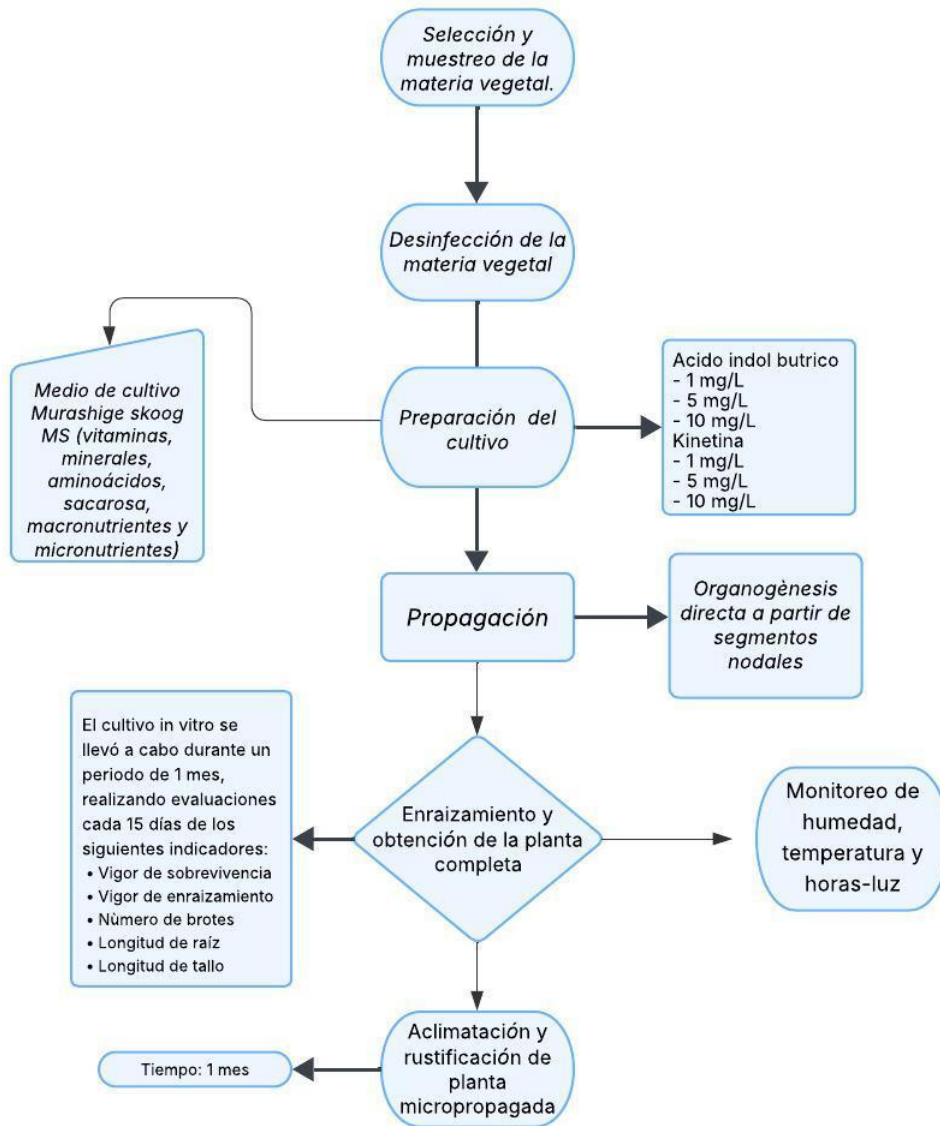


Figura 10. Flujograma de cultivo in vitro.

Fuente: Elaboración propia, (2025).

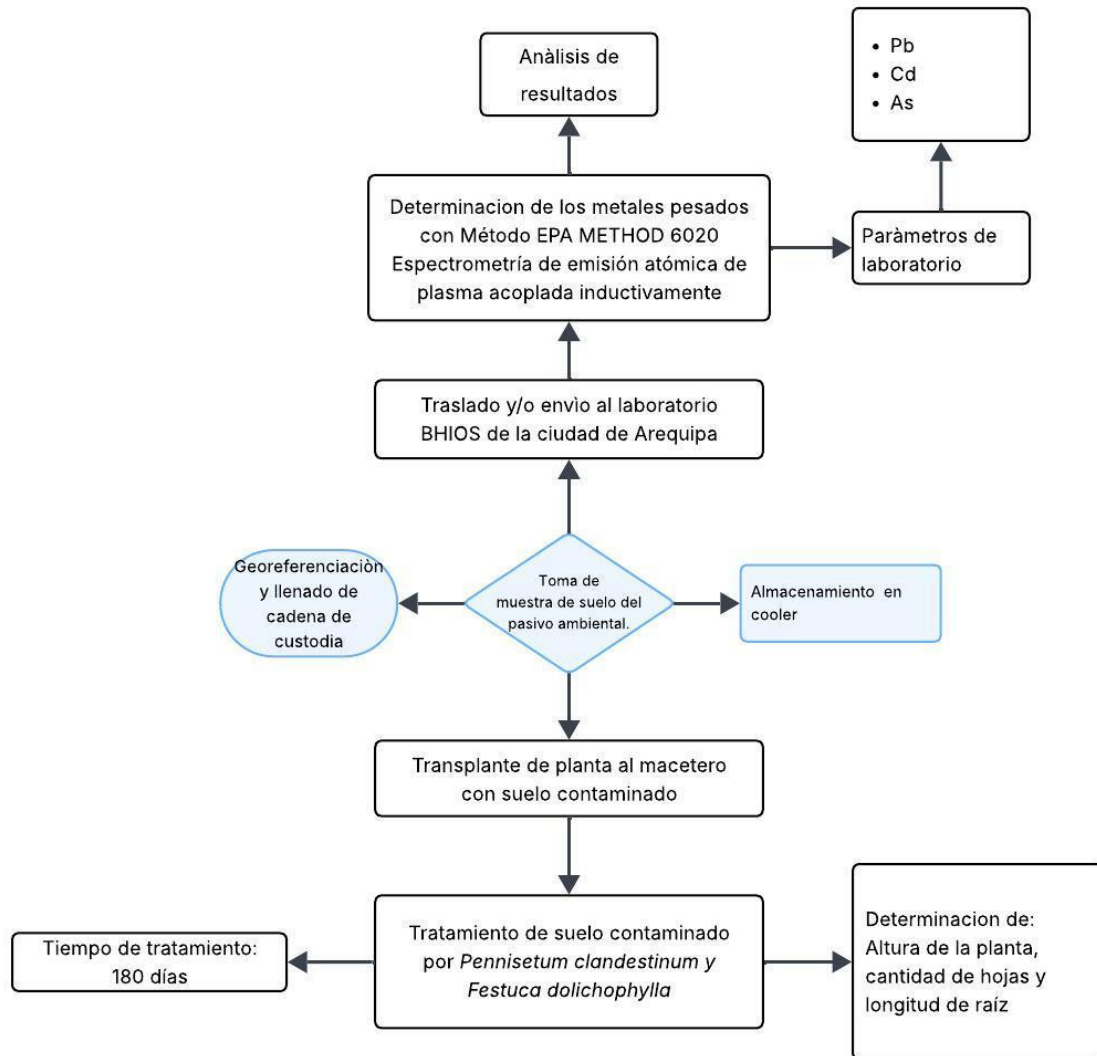


Figura 11. Flujograma de procesos de determinación de la fisiología vegetal.

Fuente: Elaboración propia, (2025).

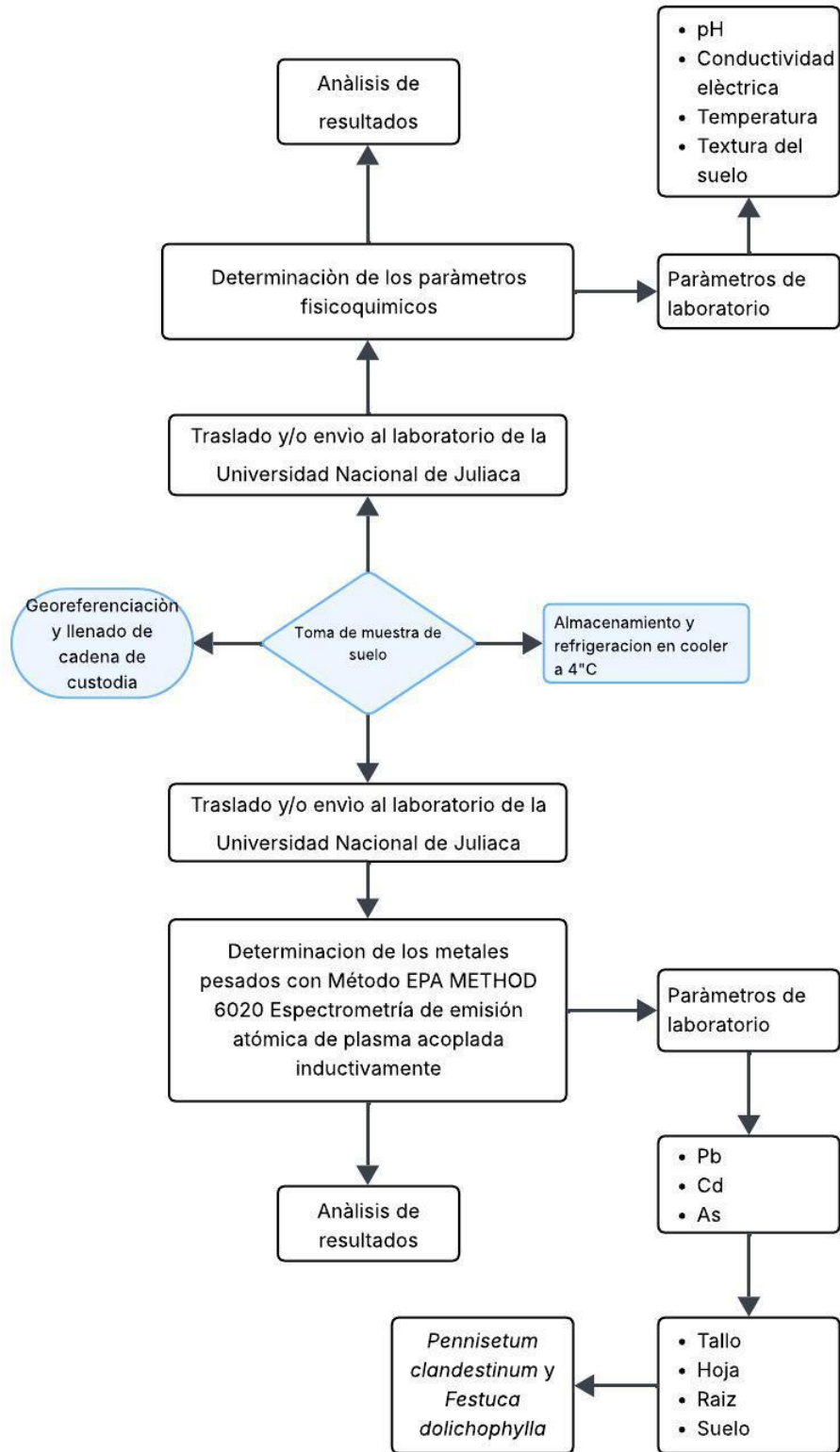


Figura 12. Flujograma para determinar los parámetros fisicoquímicos.

Fuente: Elaboración propia, (2025).

### 3.5.5. Procedimientos de Análisis e Interpretación de Resultados

#### a. Estadística Descriptiva

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó el software Minitab versión 22 para el procesamiento de datos, que incluyó codificación, tabulación, análisis e interpretación. A través de este software, se obtuvieron los resultados de los diferentes tratamientos aplicados a las muestras de estudio, presentados mediante tablas y gráficos estadísticos. Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), según propuesto por Gutiérrez y Salazar (2008), para evaluar las diferencias significativas entre los tratamientos.

#### b. Estadística inferencial

Asimismo, se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para analizar los resultados y realizar la contrastación de hipótesis de los diferentes tratamientos, en relación con la media de las variables de respuesta correspondientes. Este análisis permitió evaluar el efecto de los reguladores de crecimiento vegetal y la fitorremediación en las muestras de estudio. Los resultados obtenidos se interpretaron con base en el trabajo.(Gutiérrez & Salazar, 2008).

- Formula de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = k$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_j \text{ para algun } i \neq j$$

La cual se puede escribir en forma equivalente como:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = k$$

$$H_A: \tau_1 \neq 0_j \text{ para algun } i$$

- Análisis de significancia

$$\alpha=0.05$$

- Estadístico de prueba

---

ANOVA para diseño en bloques completamente al azar

---

<u>Fuente de variabilidad</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>Grado de libertad</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>F<sub>0</sub></u>	<u>VALOR -P</u>
Tratamiento	SCTRAT	K-1	$CM_{TRAT}$	$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	P(F>F <sub>0</sub> )
Bloques	SCB	b-1	$CM_B$	$F_0 = \frac{CM_B}{CM_E}$	P(F>F <sub>0</sub> )
Error	SCE	(K-1)(b-1)	$CM_E$		
Total	SCT	N-1			

---

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Evaluación de la capacidad de propagación por cultivo in vitro de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* aplicando los reguladores de crecimiento.

Los resultados de la evaluación de propagación por cultivo in vitro de las especies vegetales *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* fueron obtenidos en el laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca. A continuación, se presentan los resultados de propagación de ambas especies, detallados en las siguientes tablas, que muestran el desempeño del cultivo in vitro para cada una de ellas.

##### Planteamiento de hipótesis

H0: Las especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* tienen la capacidad de propagación por cultivo in vitro.

H1: Las especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* no tienen la capacidad de propagación por cultivo in vitro.

##### 4.1.1. Vigor de sobrevivencia

Tabla 10

Vigor de sobrevivencia de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

Especies	Plan.emerg./plan.semb.	N° de muestras	% VS
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Plantas emergidas	9	90
	Plantas sembradas	10	
<i>Festuca dolichophylla</i>	Plantas emergidas	9	90
	Plantas sembradas	10	

Fuente: Elaboración propia, (2025).

En la tabla 10, se muestra el vigor de sobrevivencia en cultivo in vitro de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, llevado a cabo en cámara de crecimiento. En ambas especies, el vigor alcanzó un 90%, lo que evidencia un desempeño óptimo de la propagación bajo condiciones controladas. Este resultado es comparable con los hallazgos de otros

estudios que muestran altos índices de sobrevivencia en condiciones en cultivo in vitro para diversas especies. Por otro lado Aguilar et al. (2020) reportan una sobrevivencia de entre 80% y 95% en especies como *Agave celsii* y *Yucca filifera*, lo cual es consistente con el vigor obtenido en nuestro estudio. Esto sugiere que, en general, las especies evaluadas presentan una buena respuesta a las condiciones controladas de cultivo in vitro, lo que resalta la efectividad de estos sistemas para la propagación vegetal.

El alto vigor de sobrevivencia en *Pennisetum* y *Festuca* puede estar relacionado con el adecuado desarrollo del tejido. Como mencionan Perea, (2010) y Gonçalves et al., (2016) factores como la composición del medio de cultivo y el tipo de explante elegido son cruciales para la proliferación celular y el crecimiento vegetal. En este sentido, la elección de los medios de cultivo y el manejo de las hormonas vegetales, como auxinas y citoquininas, pueden haber jugado un papel clave en los buenos resultados obtenidos en nuestro estudio. Sin embargo, la investigación de alternativas más económicas a estas hormonas, como las propuestas por Vyas et al., (2009), puede ser relevante en este contexto. Su investigación sobre el uso de suplementos naturales, como los minerales y aminoácidos de fuentes alternativas, puede ofrecer nuevas oportunidades para optimizar la eficiencia de los cultivos in vitro, especialmente en sistemas de propagación masiva, donde el costo de los compuestos sintéticos es un factor limitante.

Además, la investigación de Jia et al. (2022) sobre la adaptabilidad de *Pennisetum* en suelos contaminados con cromo destacan la robustez de esta especie frente a factores adversos como la contaminación. El vigor de sobrevivencia de *Pennisetum* a concentraciones de 15 mg/L de cromo fue sorprendentemente alto (798%), lo que indica que esta especie posee una destacada capacidad de adaptación, similar a la observada en nuestro estudio al mantener una alta tasa de sobrevivencia en condiciones controladas. Este comportamiento también puede reflejar la resistencia de las especies estudiadas a condiciones estresantes, como las que se producen en ambientes contaminados. En este sentido, se puede plantear que los sistemas de cultivo in vitro no solo favorecen la propagación, sino que también podrían ser utilizados para la conservación de especies que necesiten ser protegidas en entornos adversos.

En conclusión, los hallazgos de esta investigación se alinean con estudios anteriores respecto a la efectividad significativa del cultivo in vitro en el crecimiento de plantas, y ofrecen nuevas oportunidades para mejorar estos procedimientos, considerando tanto aspectos económicos como ambientales.

#### 4.1.2. Vigor de enraizamiento

**Tabla 11**

Vigor de enraizamiento (VE) de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

Especies	Plan.emerg./plan.enraiz.	N° de muestras	% VE
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Plantas enraizadas	9	90
	Plantas sembradas	10	
<i>Festuca dolichophylla</i>	Plantas enraizadas	8	80
	Plantas sembradas	10	

Fuente: Elaboración propia, (2025).

En la Tabla 11, se presentan los datos sobre el vigor de enraizamiento de las dos especies. El 90% de *Pennisetum clandestinum* y el 80% de *Festuca dolichophylla*. Estos resultados sugieren una adecuada capacidad de las plántulas para adaptarse a las condiciones de cultivo in vitro, lo que es fundamental para garantizar la viabilidad de las plantas y su posterior éxito en la etapa de ex vitro. La tasa de enraizamiento observada refleja la efectividad de las condiciones controladas de cultivo, que favorecen el desarrollo de las raíces en ambas especies. El enraizamiento exitoso depende en gran medida de la especie y de las condiciones específicas durante el proceso de multiplicación. Según indicado en el estudio de (Perea, 2010), hay brotes que pueden desarrollar raíces durante la etapa de multiplicación; sin embargo, el proceso de enraizamiento ex vitro es mucho más efectivo cuando se realiza un diseño específico para esta etapa, lo que podría haber sido una de las claves para los buenos resultados obtenidos en este estudio. Estos hallazgos son coherentes con otros estudios previos, como el de (Bohórquez et al., 2016), donde se logró un enraizamiento del 85% utilizando un medio de cultivo MS y 5 mg/L de ácido indolbutírico (AIB). Este resultado demuestra que la incorporación de hormonas de enraizamiento como el AIB puede mejorar significativamente la tasa de enraizamiento, lo cual también podría haber contribuido al éxito observado en nuestro estudio. Además, se observó que la combinación de capote y tierra en proporción 3:1 favoreció el enraizamiento en invernadero, lo que resalta la importancia de los medios de cultivo y las condiciones ambientales para el éxito de la propagación.

Por otro lado, el hecho de que *Pennisetum clandestinum* haya mostrado un alto vigor de enraizamiento en cultivo in vitro concuerda con estudios sobre su capacidad de adaptación a diferentes condiciones, incluida su resistencia a suelos contaminados, como se menciona en la discusión sobre su vigor de sobrevivencia. Esta especie, conocida comúnmente como Kikuyu, es una planta con una alta capacidad de crecimiento y enraizamiento debido a su naturaleza estolonífera y rizomatosa, características que le permiten desarrollarse eficazmente en sistemas de cultivo controlado y también en suelos degradados (Fed & Yield, 2007).

Es importante señalar que el éxito en el enraizamiento, particularmente en plantas cultivadas in vitro, es fundamental para la producción masiva de plántulas. Estos resultados podrían ser aprovechados para desarrollar protocolos eficientes para la propagación de *Pennisetum* y *Festuca*, con aplicaciones en programas de reforestación, restauración de suelos contaminados y conservación de especies.

En resumen, los resultados del vigor de enraizamiento en este estudio son consistentes con los de investigaciones previas, lo que valida la efectividad de las condiciones de cultivo in vitro para promover el desarrollo de raíces y asegura una alta probabilidad de sobrevivencia de las plántulas. Esto abre la puerta para futuras investigaciones y aplicaciones de propagación masiva de estas especies, especialmente para proyectos de fitorremediación o restauración ecológica.

#### 4.1.3. Número de brotes, longitud de raíz y longitud del tallo del cultivo in vitro

Tabla 12

Número de brotes, longitud de raíz y longitud del tallo del cultivo in vitro

TRATAMIENTO		Formación de brotes (cant.)		Longitud de raíz (cm)		Longitud de tallo (cm)	
		DIA 15	DIA 30	DIA 15	DIA 30	DIA 15	DIA 30
A1	Control	2	3	0.5	1.5	1	1.5
	B11	2	4	0.91	1.8	1	1.8
	B12	2	3	1.1	2.05	1.1	1.8
	B13	2	4	1.3	2.1	1.1	2
	B21	2	4	0.89	2	1.2	1.9
	B22	3	5	1.2	2.1	1.25	1.9
	B23	3	5	1.2	2.1	1.3	2.1
A2	Control	1	2	0.8	1.4	0.9	2.1
	B11	2	3	1.1	2.3	1	1.6
	B12	2	4	1.2	2.4	1	1.8
	B13	2	4	1	1.9	1.2	2
	B21	1	3	0.9	2.1	1.1	2
	B22	2	5	1	2	1.2	2.1
	B23	2	5	1.1	2.2	1.3	2.2

Fuente: Elaboración propia, (2025).

En la Tabla 12 se muestran, los resultados de la propagación in vitro de las especies *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

Se evaluaron parámetros clave como el número de brotes, la longitud de la raíz y la longitud del tallo, los cuales son indicadores fundamentales del éxito en la multiplicación in vitro y el adecuado desarrollo de plántulas bajo condiciones controladas.

A los 30 días de cultivo, los tratamientos B22 (5mg/L) y B23 (10mg/L) de kinetina mostraron el mayor número de brotes (5) tanto en *Pennisetum clandestinum* (A1) como *Festuca dolichophylla* (A2), evidenciando la efectividad de este regulador de crecimiento en la inducción de brotes.

Respecto a la longitud de la raíz, *Pennisetum clandestinum* alcanzó el mayor crecimiento con los tratamientos B13 (10mg/L de IBA), B22 (5mg/L de kinetina) y B23 (10 mg/L de kinetina), con una longitud de 2.1 cm. En el caso de *Festuca dolichophylla*, el tratamiento B12 (5mg/L de IBA) presentó mayor longitud de radicular, alcanzando 2.4 cm, lo que refleja una respuesta diferencial entre especies frente a los reguladores aplicados.

En cuanto a la longitud del tallo, el tratamiento B23 (10mg/L de kinetina) promovió el mayor desarrollo en ambas especies: 2.1 cm en *Pennisetum clandestinum* y 2.2 cm en *Festuca dolichophylla* (2.2 cm). Este resultado refleja un óptimo crecimiento vegetativo, crucial para el éxito en la fase de aclimatación ex vitro. Dado que la longitud del tallo es un indicador del vigor y desarrollo general de las plántulas, estos hallazgos sugieren que los tratamientos aplicados no solo favorecieron la formación de brotes, sino también el fortalecimiento estructural de las mismas.

En resumen, los hallazgos de esta investigación indican que el uso adecuado de compuestos reguladores de crecimiento, tales como el IBA y la kinetina, junto con una adecuada adición al medio de cultivo, son fundamentales para lograr una propagación in vitro efectiva de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*. Los resultados están en línea con investigaciones previas que subrayan la relevancia de estas combinaciones para optimizar la regeneración y el enraizamiento de los brotes. Estos hallazgos podrían ser cruciales para la propagación a gran escala y la conservación de estas especies, así como para proyectos de restauración ecológica.

**A). Análisis de varianza de la especie de *Festuca dolichophylla* de número de brotes, longitud de tallo, y longitud de raíz, donde se detallan en las siguientes tablas.**

**Tabla 13**

Análisis de varianza de tallo

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
bloque	1	0.00298	0.00298	0.05	0.825
DÍAS	1	2.65786	2.65786	48.47	0.001
RC*D	6	0.09714	0.01619	0.30	0.915
Error	5	0.27417	0.05483		
Total	13	3.03214			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la Tabla 13, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) referente a la longitud del tallo de *Festuca dolichophylla* con distintos métodos de propagación in vitro. Al llevar a cabo la prueba de hipótesis, se obtuvo un valor de P mayor a 0.05, lo que sugiere que no hay diferencias estadísticamente relevantes entre los diferentes tratamientos en relación con la longitud del tallo. Esto significa que se acepta la hipótesis nula (que propone que no hay efectos significativos de los tratamientos) y se descarta la hipótesis alternativa (que indicaría la existencia de diferencias significativas).

En la Figura 13, se incluye un gráfico que ilustra la altura del tallo en el marco de la revisión de la habilidad de propagación en condiciones de laboratorio. En este gráfico, las barras indican los tratamientos que lograron una mayor longitud de tallo, y estos hallazgos son considerados con relevancia estadística. El estudio fue llevado a cabo con un grado de confianza del 95% y un margen de error del 0.05%, lo que garantiza que las variaciones vistas entre los tratamientos son dignas de confianza.

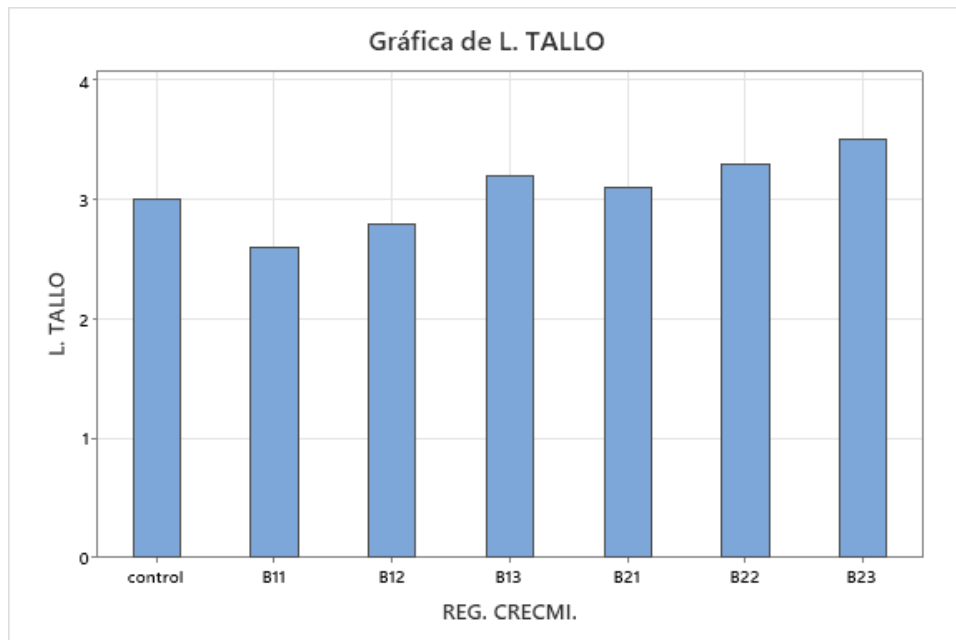


Figura 13. Longitud de tallo de acuerdo al tratamiento.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la Figura 13, se observa que el tratamiento con kinetina a una concentración de 10 mg/L (B23) promovió una elongación de tallo de 2.2 cm en *Festuca dolichophylla*, en comparación con el control (2.1 cm), evidenciando una ligera mejora en la longitud de tallo. Este resultado coincide con lo reportado por (Jerzy et al., 2015), quienes demostraron que en cultivos in vitro de *Chrysanthemum*, la aplicación de kinetina favoreció el crecimiento de brotes con una longitud hasta tres veces mayor respecto al tratamiento estándar con BAP e IAA, confirmando el rol positivo de esta citoquinina en la elongación de tejidos en especies herbáceas. Aunque el incremento observado en la presente investigación es más modesto, puede atribuirse a variaciones en la respuesta específica de la especie, condiciones del cultivo o interacción hormonal. Por otro lado, si bien Chauchan (2025), centró su análisis en el uso del AIB, sus resultados también destacan la influencia de los reguladores de crecimiento en parámetros morfológicos, como altura de planta, número de hojas y biomasa aérea y radical, con incrementos significativos frente al control. Esto refuerza la hipótesis de que tanto las auxinas como las citoquininas desempeñan funciones clave en la promoción del crecimiento estructural de las plantas en condiciones in vitro.

En la Figura 14, se muestra un gráfico de Pareto, empleado para la revisión visual de los hallazgos del análisis de varianza (ANOVA). En este gráfico, las barras ilustran los diversos tratamientos estudiados, y aquellas que superan la línea de referencia son vistas como

significativamente relevantes desde el punto de vista estadístico. Esto se debe a que los resultados se examinaron con un nivel de confianza del 95%.

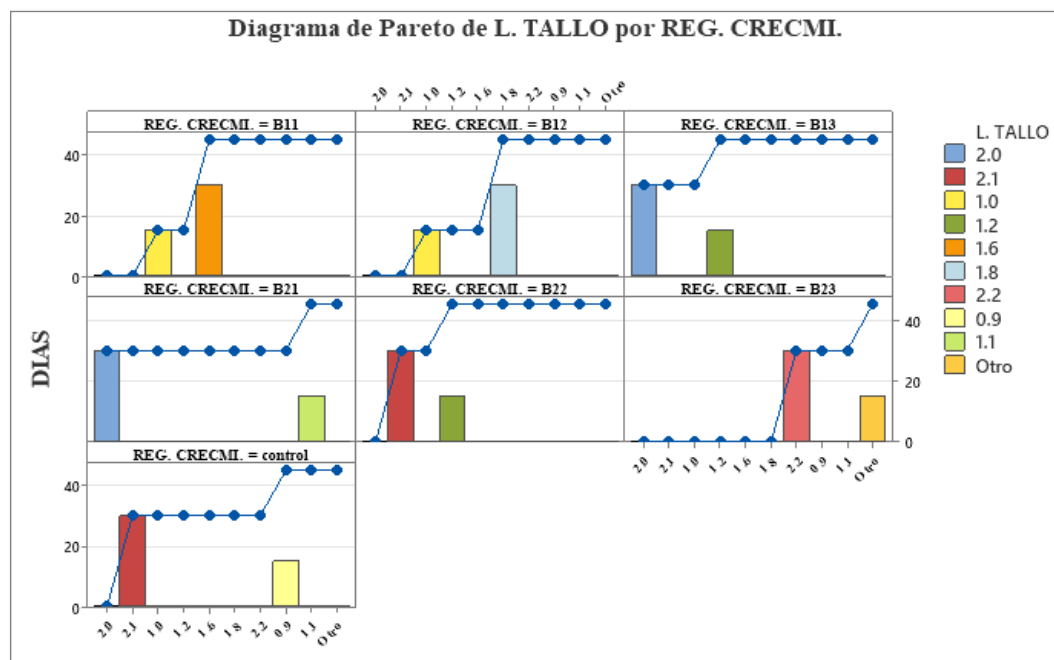


Figura 14. Diagrama de Pareto de variación de longitud tallo.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 13 se muestra el cambio en la longitud del tallo a los 15 y 30 días de cultivo in vitro, donde se puede notar la variación de cada tratamiento aplicado a la especie *Festuca dolichophylla*.

**Tabla 14**

Análisis de varianza de brotes de la especie *Festuca dolichophylla*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloque	1	3.440	3.4405	5.03	0.075
DÍAS	1	14.000	14.0000	20.49	0.006
RC*D	6	2.000	0.3333	0.49	0.796
Error	5	3.417	0.6833		
Total	13	22.857			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 14, se muestra el análisis de varianza de propagación in vitro de numero de brotes que se contabilizo de *Festuca dolichophylla* a diferentes tratamientos, por tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que  $P > 0.05$  donde se acepta que tiene la capacidad de propagación por cultivo in vitro. Esto significa que se acepta la hipótesis nula, mientras que se descarta la hipótesis alternativa.

En la figura 15, se muestra la cantidad de brotes para analizar la habilidad de propagación a través de cultivo in vitro. En el gráfico, se exhiben barras que representan diferentes cantidades de brotes, y son consideradas significativas desde el punto de vista estadístico, utilizando un nivel de significancia del 95 % y un error de 0.05%.

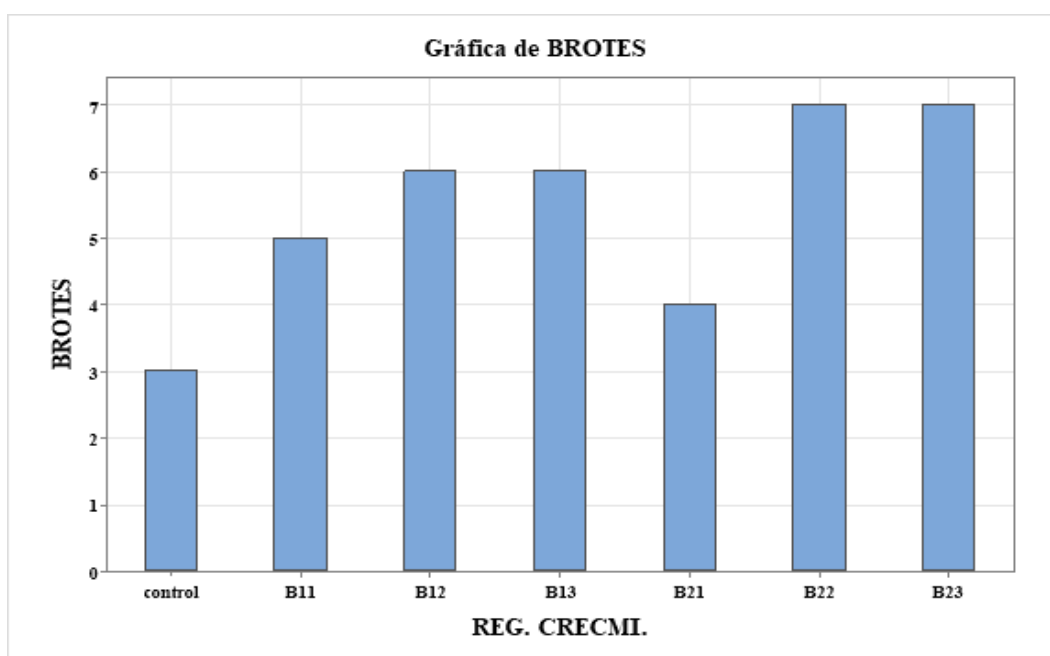


Figura 15. Número de brotes de *Festuca dolichophylla* según los tratamientos aplicados.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la Figura 15, se observa que los tratamientos con kinetina, específicamente B23 (10 mg/L) y B22 (5 mg/L), promovieron un mayor número de brotes (7) en comparación con el control, que solo produjo tres brotes. Este resultado demuestra la eficacia del regulador de crecimiento kinetina en la inducción de brotes en condiciones de cultivo in vitro para *Festuca dolichophylla*, sugiriendo que esta especie presentan un alto potencial para ser multiplicadas en condiciones de laboratorio.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan el rol fundamental de los reguladores de crecimiento en la organogénesis y regeneración vegetal. Botero et al. (2015), reportaron que el uso combinado de reguladores como el ácido 3-indolbutírico (IBA) y BAP,

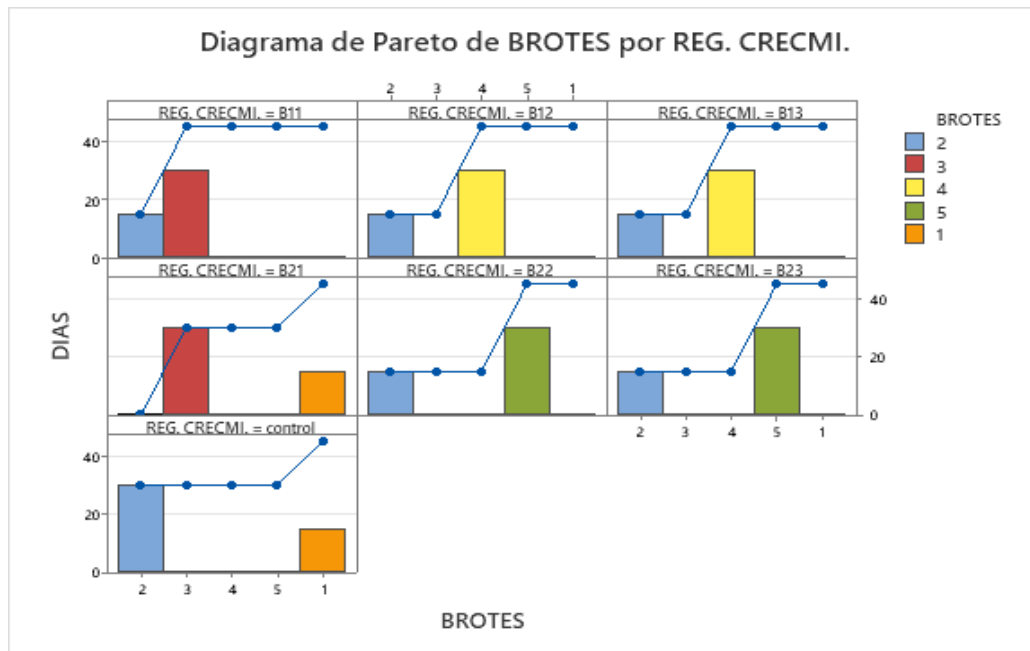
en un medio MS, favoreció el desarrollo de embriones somáticos y brotes en segmentos foliares y capas delgadas de células del tallo. De manera similar, George et al., (2008) señalan que la aplicación de citoquininas en altas concentraciones estimula la división celular, promoviendo así la formación de ramas laterales, lo que respalda el incremento en el número de brotes observado en nuestro estudio.

Aunque existen pocos reportes sobre la inducción de brotes en *Festuca dolichophylla* con kinetina, se han descrito protocolos exitosos de regeneración desde callo en *Festuca arundinacea* (Zhang et al., 2006), lo que refuerza el potencial de este género para responder positivamente a tratamientos con citoquininas. En especies como *Ruta graveolens* y *Ruta chalepensis*, se ha evidenciado que la kinetina, en concentraciones entre 1 y 10  $\mu\text{M}$ , puede inducir eficazmente la formación y proliferación de brotes incluso sin la adición de auxinas (Faisal et al., 2018), lo cual sugiere un posible mecanismo conservado entre especies.

Sin embargo, la eficacia de la kinetina está estrechamente relacionada con su concentración. Tal como lo reportan (Bonyanpour & Khosh-Khui, 2013), Rahman et al. (2024), Gantait y Mahanta (2022) y Mohamad et al. (2022), concentraciones de aproximadamente 5 mg/L suelen ser las más efectivas para la inducción de brotes sin comprometer la morfología de las plántulas, como se evidenció en *Punica granatum* y explantes de arroz tratados con combinaciones de kinetina e IBA. En este contexto, nuestros resultados muestran que tanto 5 mg/L como 10 mg/L fueron efectivos en la inducción de brotes, aunque se debe considerar que concentraciones mayores podrían alterar la morfogénesis.

Es importante destacar que el éxito en la propagación in vitro no solo depende de los reguladores de crecimiento, sino también de la composición del medio y del tipo de explante utilizado, aspectos que inciden en los procesos de embriogénesis somática, propagación clonal y formación de brotes adventicios Perea, (2010). Finalmente, durante su desarrollo, las plantas requieren de un balance hormonal adecuado para asegurar la regulación de funciones metabólicas esenciales, como indican (Steven et al., 2019), lo cual refuerza la importancia de elegir cuidadosamente los reguladores aplicados en protocolos in vitro.

En la figura 16, se muestra el gráfico de pareto, que sirve para comprobar de manera visual los hallazgos del análisis de varianza. Este gráfico incluye barras que indican la cantidad de brotes para cada tratamiento, y aquellas que atraviesan una línea de referencia son consideradas estadísticamente relevantes, ya que se analizaron con un nivel de confianza del 95 %.



**Figura 16.** Diagrama de pareto de numero de brotes de la especie *Festuca dolichophylla*.

Fuente: Software Minitab V.2.

**Tabla 15**

Análisis de varianza de longitud de raíz de *Festuca dolichophylla*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
bloque	1	0.4286	0.42857	11.28	0.020
DÍAS	1	3.7029	3.70286	97.44	0.000
RC*D	6	0.1471	0.02452	0.65	0.697
Error	5	0.1900	0.03800		
Total	13	4.4686			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 15, se observa el análisis de varianza de propagación in vitro de longitud de raíz, *Festuca dolichophylla* a diferentes tratamientos, por tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que  $P > 0.05$  donde se acepta que tiene la capacidad de propagación por cultivo in vitro. Esto implica que la hipótesis nula es aceptada, mientras que la hipótesis alternativa se rechaza.

En la figura 17, se muestra un gráfico que indica la longitud de las raíces bajo diversas condiciones de tratamiento para analizar la habilidad de multiplicación a través de cultivo in vitro. Por lo tanto, se exhiben las barras de longitud mínima y máxima de las raíces, las cuales son consideradas estadísticamente relevantes, trabajando con un nivel de significancia del 95 % y un margen de error de 0.05%.

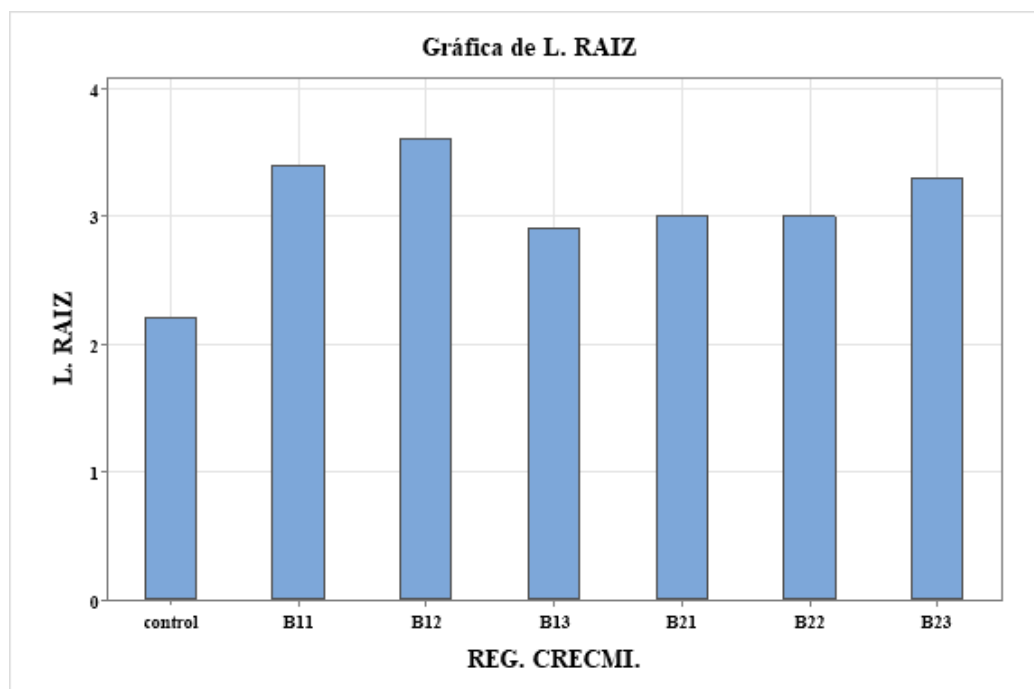


Figura 17. Longitud de raíz de *Festuca dolichophylla* según los tratamientos aplicados.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 17, se puede ver que los tratamientos B12 (5mg/L IBA) de 2.4 cm tienen una longitud más alta, mientras que la especie de control presenta el menor crecimiento. Esto sugiere que los reguladores son fundamentales en el proceso de alargamiento de raíces. Este resultado coincide con lo reportado por Quintero et al., (2016), quienes concluyeron que el medio MS suplementado con 5 mg/L de AIB fue el más efectivo para la formación de raíces, sustentado en un análisis de componentes principales que incluyó variables como el porcentaje de brotes enraizados, el número de raíces por brote y la longitud de estas. Aunque no se hallaron estudios específicos con 5 mg/L de AIB en *Festuca arundinacea*, investigaciones en otras especies, como *Espeletia occidentalis*, muestran que concentraciones intermedias (3 mg/L de AIB) promueven raíces largas (5 cm) sin formación de callo (Salazar & Urrea, 2025). Asimismo, en *Festuca* se ha evidenciado que niveles elevados de auxinas pueden estimular la elongación radicular, especialmente en condiciones

de estrés hídrico, lo cual podría explicar parcialmente la respuesta positiva observada en el presente experimento (Perlikowski et al., 2020).

El enraizamiento representa una fase fundamental en cualquier metodología de propagación in vitro. Por lo general, se necesita que los explantes sean ubicados en un medio específico para facilitar el desarrollo de raíces, lo que alarga tanto la duración como los gastos de estos procedimientos. Una forma de disminuir el costo en la micropropagación es sacar los explantes sin raíces de las condiciones in vitro y hacer que enraícen en un sustrato especial fuera de estos sistemas (George et al., 2008).

Por lo tanto, el uso de reguladores exógenos como el IBA representa una herramienta valiosa para optimizar la etapa de enraizamiento in vitro en esta especie, con implicancias directas en la eficiencia de propagación clonal.

En la figura 18, se puede ver un gráfico de Pareto que se emplea para la validación visual de los resultados del análisis de varianza. En este gráfico, se muestran barras que representan la raíz de longitud de cada tratamiento que atraviesan una línea de referencia, considerándose estadísticamente significativas, dado que fueron evaluadas con un nivel de confianza del 95

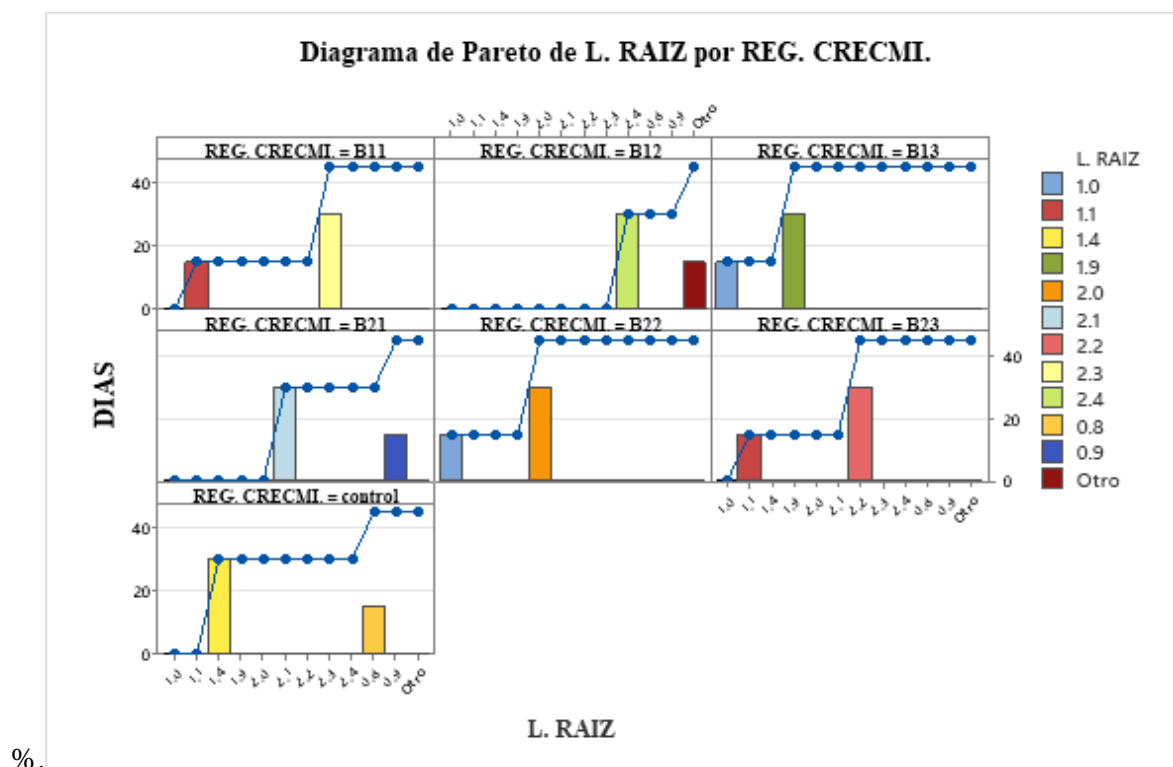


Figura 18. Diagrama de Pareto de longitud de raíz de *Festuca dolichophylla*.

Fuente: Software Minitab V.2.

**B). Análisis de varianza de la especie de *Pennisetum clandestinum* de numero de brotes, longitud de tallo, y longitud de raíz, donde se detallan en las siguientes tablas.**

Tabla 16

Análisis de varianza de brotes de *Pennisetum clandestinum*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
bloque	1	0.4286	3.31%	0.4286	0.4286	0.71	0.437
DÍAS	1	5.7857	44.75%	5.7857	5.7857	9.64	0.027
RC*D	6	3.7143	28.73%	3.7143	0.6190	1.03	0.497
Error	5	3.0000	23.20%	3.0000	0.6000		
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>12.9286</b>	<b>100.00%</b>				

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 16, se presenta el análisis de varianza de propagación in vitro de numero de brotes contabilizados en *Pennisetum clandestinum* bajo diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que  $P > 0.05$  donde se acepta que tiene la capacidad de propagación por cultivo in vitro. Esto implica que la hipótesis nula es aceptada, mientras que la hipótesis alternativa se rechaza.

En la figura 19, se muestra una gráfica con el número de brotes para evaluar la capacidad de propagación por cultivo in vitro. Se observan barras que presentan el mayor y menor número de brotes y son considerados estadísticamente significativas, habiendo trabajado con un nivel de significancia de 95 % y un margen de error de 0.05%.

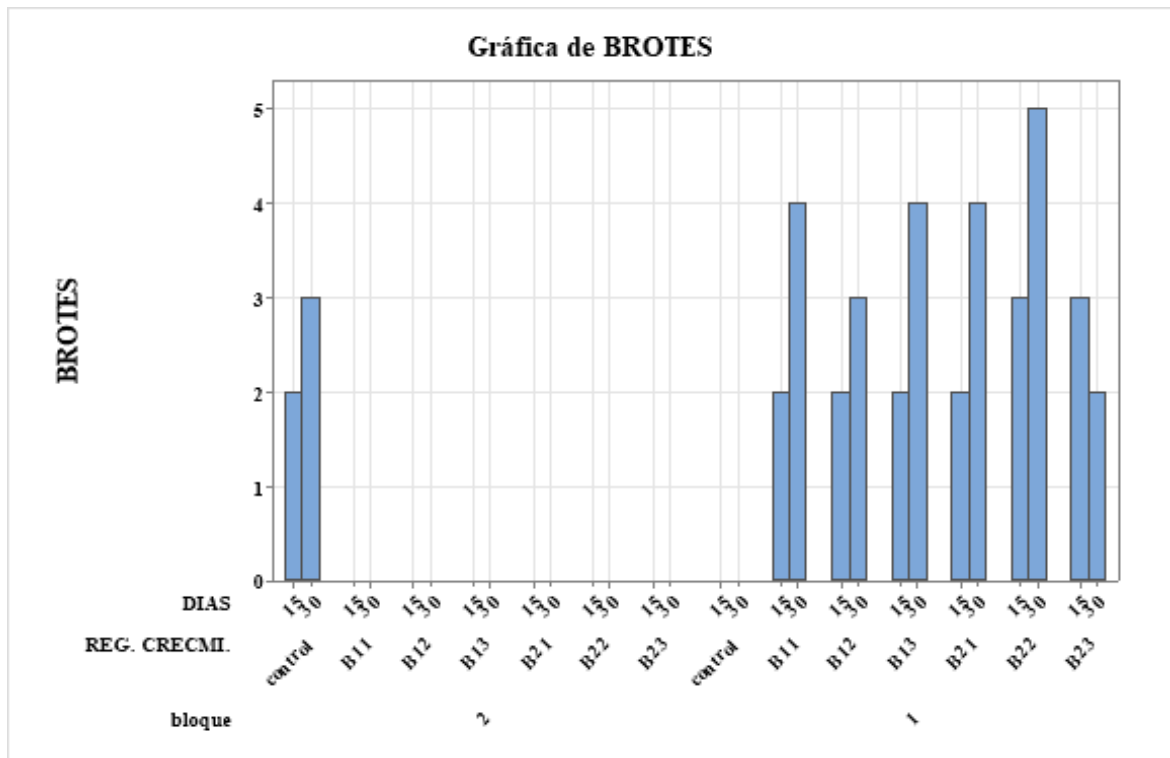


Figura 19. Numero de brotes de *Pennisetum clandestinum* según los tratamientos aplicados. Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 19, se observa que el tratamiento B22 (5mg/L de kinetina), tanto a los 15 y 30 días, presenta un mayor número de brotes, con 3 y 5 brotes respectivamente. Por otro lado, las especies de control, B12 (5mg/L de IBA) y B23 (10mg/L de kinetina) muestran el menor número de brotes, de esta 2. Esto sugiere que los reguladores de crecimiento tienen un efecto positivo en el proceso de brotación, promoviendo un mayor crecimiento en comparación con los controles.

La presencia de hormonas como las auxinas y citoquininas, aplicadas a diferentes dosis, permite que las plantas y sus células desarrollen caminos morfogénicos alternativos muy distintos. En términos generales, gracias a la influencia de varias hormonas, se observan procesos de división y alargamiento celular. No obstante, especialmente en condiciones in vitro, se ha constatado que estas células pueden comenzar procesos de diferenciación al alcanzar ciertos niveles hormonales (Vigil & Endara, 2006). Por otro lado Ekin y Dogan (2024) señalan que, en sus ensayos con medio de cultivo MS con Kinetina (KIN), se obtuvieron mayores recuentos de brotes y brotes más largos cuando se utilizó este medio en forma líquida. Además Talla et al. (2022) mencionan que los brotes individuales in vitro, al ser transferidos a un medio MS suplementado con 2 mg/L de Kinetina (KN), 1.0 mg/L de

Ácido Indolbutírico (IBA) y carbón activado (3 g/L), resultaron en brotes alargados y enraizamiento in vitro de *Musa acuminata* AAA después de 3 semanas en un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.

En la figura 20, se presenta un diagrama de Pareto, que se utiliza para la verificación visual de los resultados del análisis de varianza. En este diagrama, las barras representan el número de brotes para cada tratamiento, y aquellos que cruzan la línea de referencia son considerados estadísticamente significativos. Esto se debe a que los resultados se evaluaron con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %.

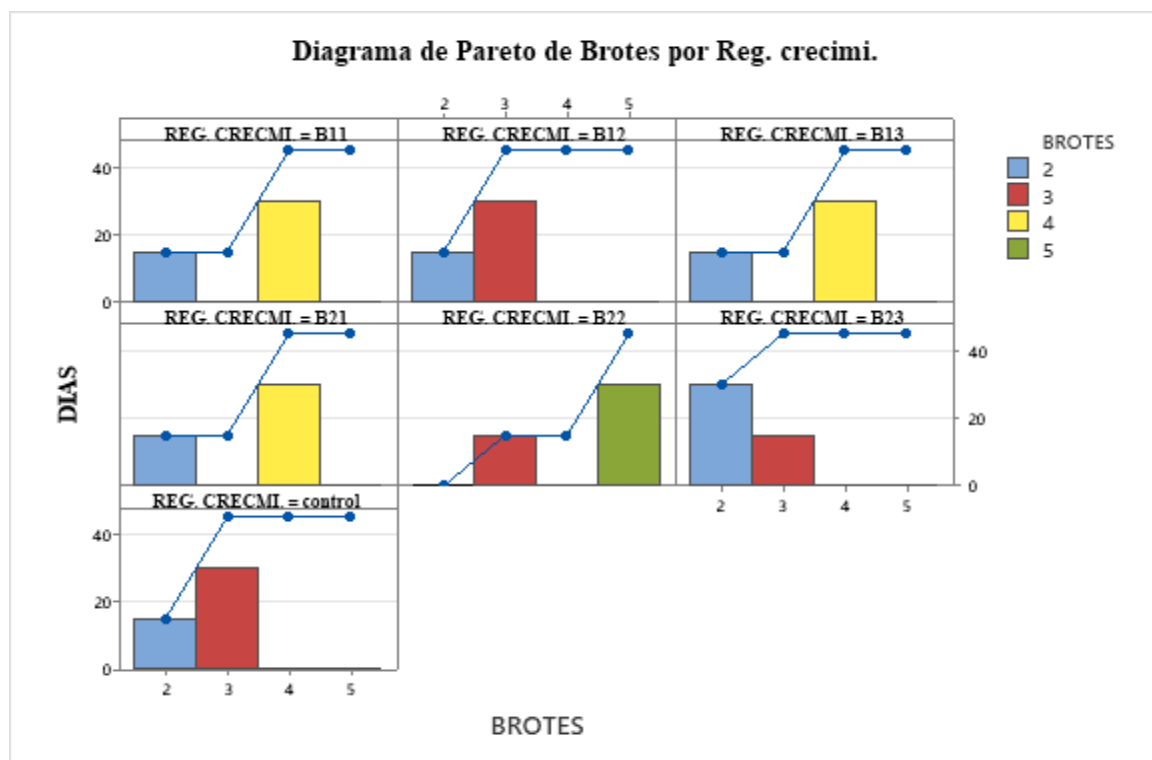


Figura 20. Diagrama de Pareto del número de brotes de *Pennisetum clandestinum*.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 20, se puede apreciar que todos los tratamientos tienen efectos significativos. Destacamos que la mayoría de los tratamientos coinciden en el día 15 y a los 30 días se tiene una variación donde la B22 resalta con un mayor número de brotes.

**Tabla 17**Análisis de varianza, longitud de raíz de *Pennisetum clandestinum*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
bloque	1	0.54241	14.21%	0.54241	0.54241	14.86	0.012
DÍAS	1	3.06446	80.26%	3.06446	3.06446	83.97	0.000
RC*D	6	0.02889	0.76%	0.02889	0.00481	0.13	0.986
Error	5	0.18247	4.78%	0.18247	0.03649		
Total	13	3.81824	100.00%				

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 17, se muestra el análisis de varianza para la propagación in vitro y la longitud de raíz de *Pennisetum clandestinum* bajo diferentes tratamientos. Al realizar la prueba de hipótesis, se obtiene un valor de  $P > 0.05$ , lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, que sugiere que los tratamientos no afectan la capacidad de propagación in vitro, y se rechaza la hipótesis alternativa. Sin embargo, según los resultados obtenidos, se identificaron diferencias en la capacidad de propagación de *Pennisetum clandestinum* en función de la dosis de aplicación. La mayor longitud de raíz, medida a los 30 días, se observó en los tratamientos B13, B22 y B23. Esto sugiere que los reguladores de crecimiento influyen en el desarrollo de la planta. En particular, las dosis de 5 mg/L y 10 mg/L de kinetina, junto con el tratamiento B13 que incluye ácido 3-indolbutírico (IBA), fueron las que promovieron un mayor crecimiento de la raíz.

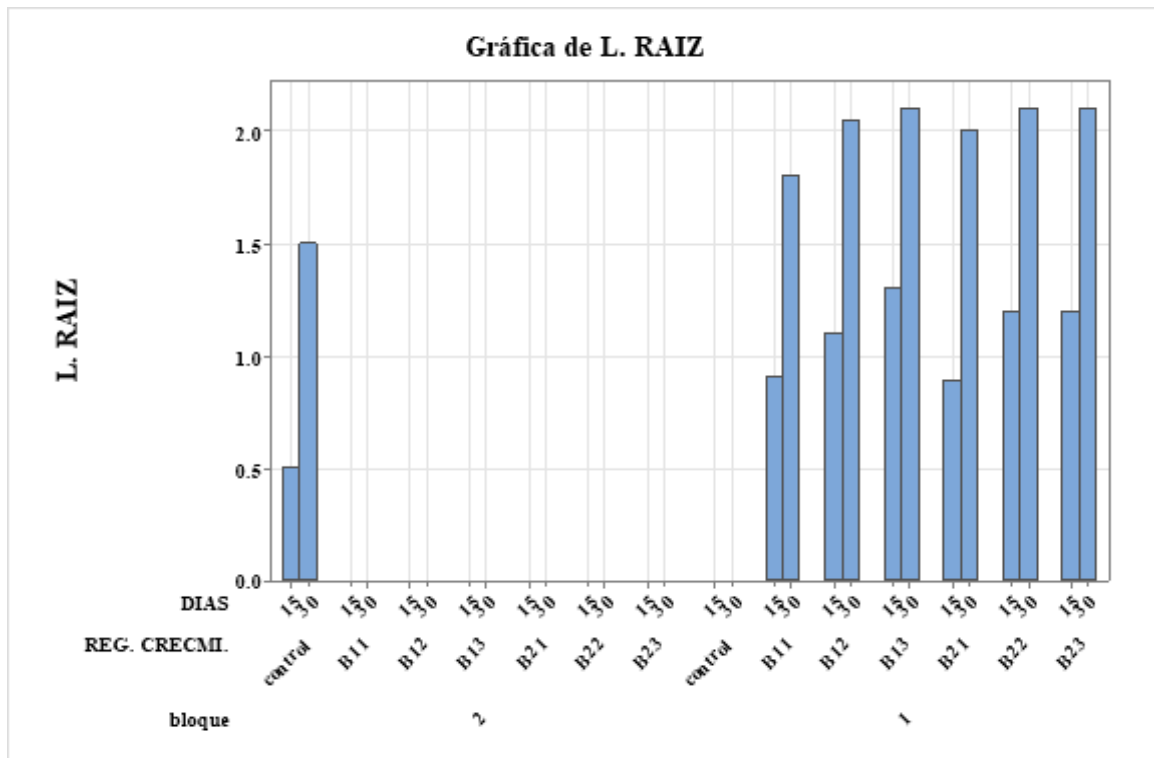


Figura 21. Longitud de raíz de *Pennisetum clandestinum* según los tratamientos aplicados.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 21, se observa que todos los explantes se desarrollaron rápidamente en condiciones in vitro, especialmente en los primeros 15 días. Durante este período, los tratamientos B13, B22 y B23, que incluían reguladores de crecimiento a dosis de 5 y 10 mg/L, mostraron la mayor longitud de raíz. Este resultado podría atribuirse a uno de los efectos de las citoquininas, que es romper la dormancia de las yemas y la dominancia apical (Gutierrez & Gonzalez, 2019). Desde entonces, los reguladores de crecimiento se han convertido en herramientas esenciales en la investigación y propagación de plantas. Los investigadores aplican al medio de cultivo sustancias químicas conocidas que estimulan la división celular. Al manipular los niveles exógenos de citoquininas y auxinas, se promueve el desarrollo de raíces y yemas (Perea, 2010). Por otro lado Lu et al. (2023) indican que el medio MS suplementado con 1.0 mg/L de ácido indol-3-butírico (IBA) produjo la mayor tasa de enraizamiento, con 10 a 15 raíces de 2-3 cm por brote, en *Rhodiola dumulos*. Por otro lado, el medio MS de concentración media, suplementado con 0.6 mg/L de NAA, 0.3 mg/L de IBA y 100 mg/L de puré de plátano, resultó ser el mejor para el enraizamiento in vitro de *Anoectochilus roxburghii*, alcanzando una tasa de inducción de raíces del 93.33% (Zhang et al., 2015). En su estudio de Kalanzi y Mwanja (2023) mencionan que la brotación de yemas fue más significativa en los esquejes tratados con 0.6% de IBA. Por lo tanto, esta

concentración de IBA (0.6%) es la más adecuada para estimular la brotación de yemas. Además, el esqueje nodal basal de *D. giganteus* resultó ser el más adecuado para la multiplicación. Los esquejes utilizados en este estudio fueron de dos nodos de una sola especie y se mantuvieron durante 18 semanas.

Asimismo, Corredoira et al., (2011), quienes indicaron que el ácido indol-3-butírico (AIB) en el sustrato aumentó los niveles de enraizamiento, sobre todo al añadir glucosa al 2% en lugar de sacarosa al 3%. De esta manera, la glucosa parece desempeñar un papel fundamental en el éxito del enraizamiento, lo que podría haber influido en los resultados positivos de este estudio, aunque el medio concreto utilizado y la concentración de glucosa no eran idénticos.

En la figura 22, se puede ver un gráfico de Pareto que sirve para la revisión visual de los hallazgos del análisis de varianza. Este gráfico muestra barras que representan la longitud de la raíz de *Pennisetum clandestinum*, y cada tratamiento que supera una línea de referencia se considera estadísticamente significativo, dado que fueron evaluados con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 0.05 %.

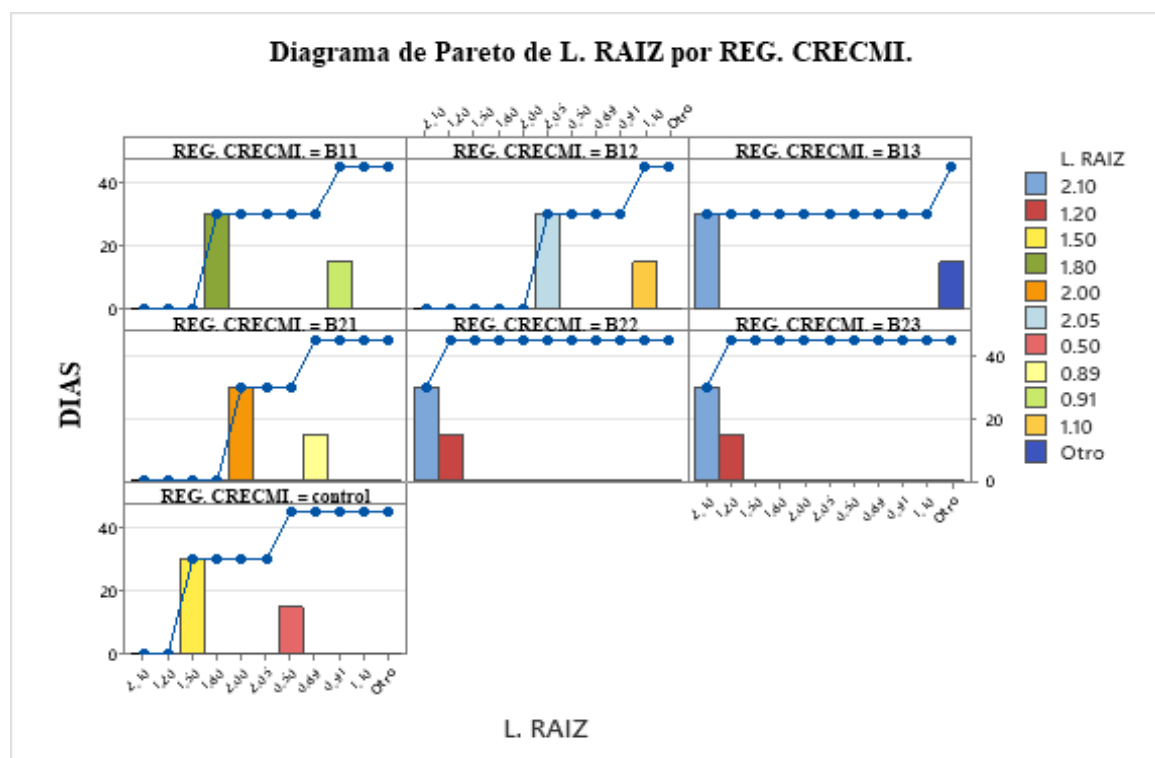


Figura 22. Diagrama de Pareto de la longitud de raíz de *Pennisetum clandestinum*.

Fuente: Software Minitab V.2.

**Tabla 18**Análisis de varianza de tallo, *Pennisetum clandestinum*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Bloque	1	0.14170	6.68%	0.14170	0.14170	6.48	0.052
DÍAS	1	1.82161	85.83%	1.82161	1.82161	83.27	0.000
RC*D	6	0.04964	2.34%	0.04964	0.00827	0.38	0.866
Error	5	0.10937	5.15%	0.10937	0.02187		
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>2.12232</b>	<b>100.00%</b>				

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 17, se presenta el análisis de varianza de propagación in vitro y longitud de tallo de *Pennisetum clandestinum* bajo diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que  $P > 0.05$  donde se acepta que tiene la capacidad de propagación por cultivo in vitro. Esto implica que la hipótesis nula es aceptada, mientras que la hipótesis alternativa se rechaza.

La elección adecuada de los medios de cultivo es clave para lograr éxito en el cultivo de tejidos vegetales. El medio básico utilizado por sí solo no puede satisfacer las necesidades de crecimiento de todas las células, por lo que se deben realizar modificaciones para conseguir las respuestas necesarias en el desarrollo de un explante. Por lo general, los medios de cultivo contienen sales inorgánicas, reguladores de crecimiento vegetal, vitaminas, carbohidratos y un agente gelificante, aunque este último no siempre es indispensable (Perea, 2010). Sin embargo, las condiciones en las que enfrenten las plántulas en el laboratorio son muy distintas de las condiciones exteriores, por lo que se necesita un proceso especial. En general, se utilizan ácido 3-indolacético (AIA), ácido 2-(1-naftalen acético) (ANA) y ácido indolbutírico (AIB) en concentraciones que van de 0.1 a 5.0 mg/L (Perea, 2010).

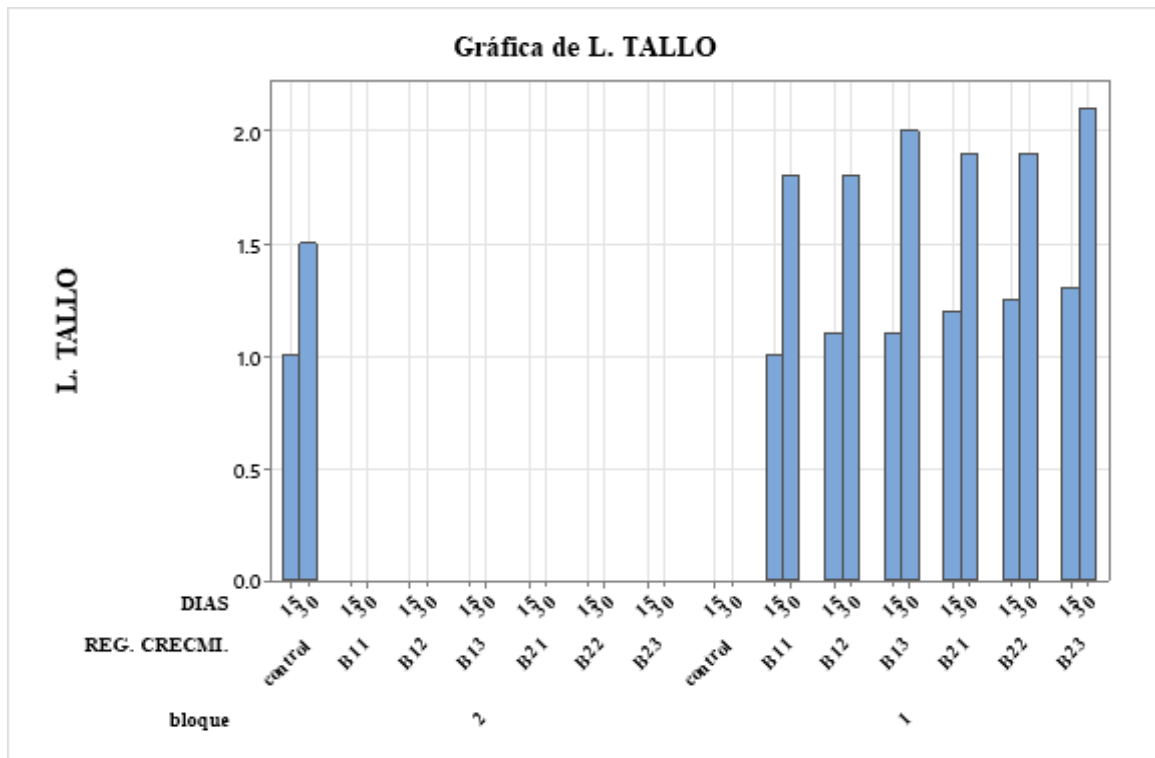


Figura 23. Longitud de tallo de *Pennisetum clandestinum* según los tratamientos aplicados.

Fuente: Software Minitab V.2.

En la figura 23, se puede notar la medida del tallo con respecto a diversos tratamientos del cultivo in vitro. En los primeros 15 días, los tratamientos B13 y B23, que incorporan reguladores de crecimiento en una concentración de 10 mg/L, presentaron una mayor longitud del tallo.

En la figura 24, se muestra un gráfico de pareto que sirve para comprobar visualmente los hallazgos del análisis de varianza. Este gráfico incluye barras que representan la longitud del tallo de *Pennisetum clandestinum*; cada tratamiento que supera una línea de referencia se considera estadísticamente significativo, dado que se analizaron con un nivel de

confianza del 95 % y un margen de error del 0.05 %.

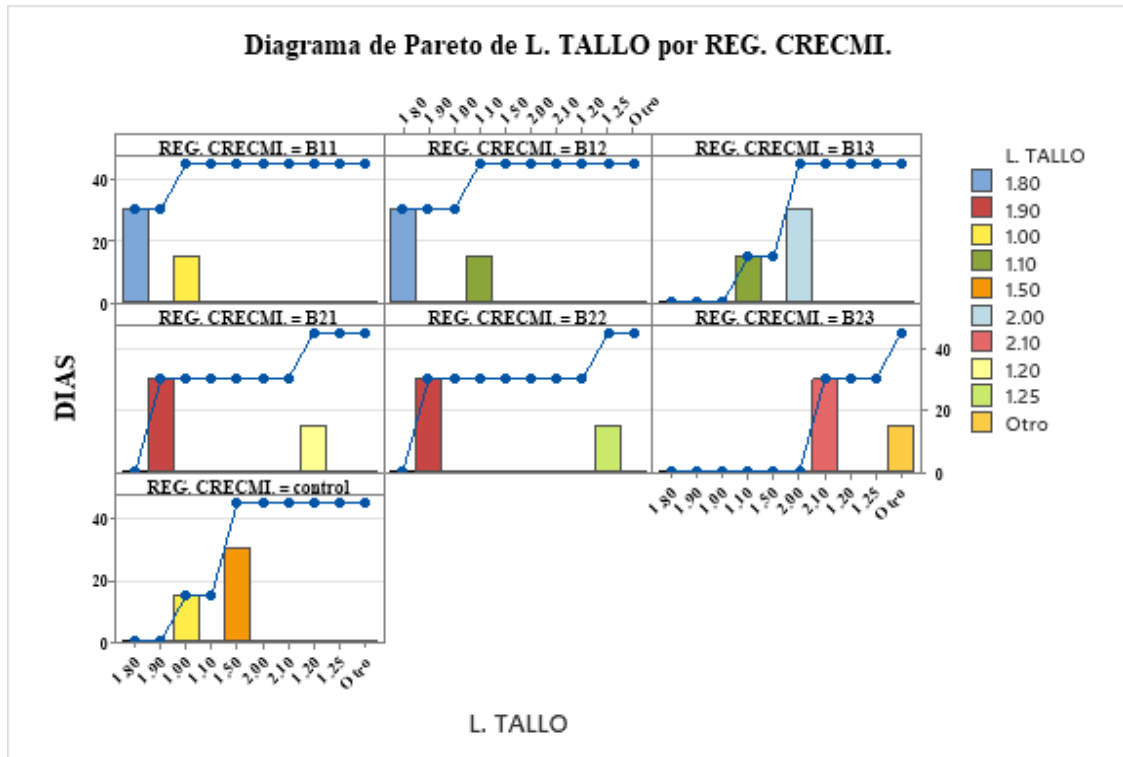


Figura 24. Diagrama de Pareto de la longitud de tallos de *Pennisetum clandestinum*.

**4.2. Determinación de la influencia de los reguladores de crecimiento sobre la fisiología vegetal de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* en la fitorremediación del suelo contaminado por el pasivo ambiental minero.**

Los resultados obtenidos en el estudio de la influencia de los reguladores de crecimiento en el tratamiento de suelos contaminados se basan en las especies vegetales sometidas a un proceso de biorremediación en condiciones controladas dentro del invernadero. Estas especies fueron seleccionadas por su capacidad para crecer en suelos afectados por contaminantes. A través el uso de reguladores de crecimiento, se buscó mejorar su rendimiento y eficacia de remoción de contaminantes. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos, los cuales reflejan el impacto de la aplicación de reguladores de crecimiento en concentraciones de 1, 5 y 10 mg/L, evaluando su influencia tanto en el crecimiento de las plantas como en su capacidad para realizar biorremediación.

#### 4.2.1. Altura de la planta de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

Tabla 19

Altura de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

ALTURA DE LA PLANTA CADA 15 DÍAS													
TRATAMIENTO	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
A1B11	7	7	7.5	8	8.3	8.4	10	12	15	15.3	16.2	17.6	18
A1B12	6.5	7	8	8.5	8.8	9	12	15	15	16.3	16.5	17.3	19
A1B13	6	7	8	9	9.3	9.4	14.5	15	15.5	17.3	17.8	18.2	19.5
A1B21	5.5	6	6.5	7	7.3	7.5	9.5	12.6	15.6	16	16.5	17.6	18.8
A1B22	6	6	6.5	7	7.2	8	8.5	9.3	12.3	13.2	13.6	14.6	15.6
A1B23	5	5.3	5.8	6	7.5	8	9	10.2	11.6	12.2	12.8	14.5	15.2
A2B11	6	7	7.5	8	8.2	8.5	10	13.3	15.9	16.1	16.4	16.5	16.8
A2B12	7	7.4	8	8.5	8.8	9.2	12.3	15.6	16	16.3	16.8	17	17.5
A2B13	6.5	7	7.5	8	8.5	8.8	10.3	10.5	11.2	12.5	12.9	14.2	14.9
A2B21	6	6.3	6.5	6.8	7	7.5	9	11.6	11.9	13.5	13.8	14	14.6
A2B22	5	5.5	6	6.3	7.2	7.8	9	12.8	13.2	15.2	16	16.3	16.5
A2B23	5.5	6	6.5	6.8	7	7.5	10.2	14.3	15	16	16.8	17.2	17.8
PL. Testigo A1	5	5.2	5.5	6	6.3	6.5	7.2	7.5	8.2	8.8	9.2	9.5	10.6
PL. Testigo A2	4	4.5	5	6.2	6.4	6.8	7	7.2	7.3	7.8	8.1	8.5	8.8

En la tabla 19, se presentan los resultados de altura de las dos especies, *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, bajo diferentes tratamientos. La medición de la altura se realizó cada 15 días durante un periodo de 6 meses.

La altura de las plantas varió según a los días de tratamiento. A los 180 días, se observó que el tratamiento A1B13 Y A1B12 mostraron la mayor altura, siendo *Pennisetum clandestinum* la especie que alcanzó la mayor altura con un tratamiento de 5 mg/L y 10 mg/L de ácido 3-indolbutírico (AIB). Los resultados coinciden con los reportados por Li et al. (2018), quienes demostraron que la kinetina promueve el crecimiento de las plantas y aumenta

significativamente la acumulación y translocación de arsénico (As) en *P. cretica var. nervosa* y *P. ensiformis* a concentraciones de 5 y 20 mg/L, respectivamente.

**Tabla 20**

Análisis de varianza de altura

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	12	2360.2	75.12%	2360.2	196.680	42.53	0.000
Error	169	781.6	24.88%	781.6	4.625		
Total	181	3141.8	100.00%				

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 20, se observa el análisis de varianza de altura de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cada 15 días, bajo diferentes tratamientos. Al realizar la prueba de hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos.

Hay un amplio acuerdo sobre cómo se producen y cuáles son las funciones de hormonas como las auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno, que se utilizan comúnmente en la agricultura intensiva. Estos reguladores del crecimiento se utilizan en la agricultura por su capacidad para influir en diversos procesos, como la inducción de raíces, la germinación de las semillas, la maduración de los frutos, la resistencia a diferentes tipos de estrés y el aumento de la producción (Borjas et al., 2020). La utilización de citoquininas y auxinas tuvo un impacto notable en el progreso de las variables analizadas. En algunas situaciones, los resultados fueron muy significativos, mientras que en otras mostraron significancia, según la cantidad y el tipo de regulador de crecimiento utilizado. Por otro lado Zárate et al. (2020), señalan que los índices de crecimiento más altos se observaron en *Festuca dolichophylla*, quizás porque su estrategia de adaptación le permite usar el espacio de manera eficiente, lo que a su vez le favorece en la actividad fotosintética en relación con otras especies.

**Tabla 21**

Medias, desv. est, IC, de la altura de la planta cada 15 días.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
0	14	5.786	0.848	(4.651; 6.920)
15	14	6.229	0.875	(5.094; 7.363)
30	14	6.771	0.989	(5.637; 7.906)
45	14	7.293	1.019	(6.158; 8.427)
60	14	7.700	0.943	(6.565; 8.835)
75	14	8.064	0.871	(6.930; 9.199)
90	14	9.893	1.997	(8.758; 11.027)
105	14	11.921	2.704	(10.787; 13.056)
120	14	13.121	2.838	(11.987; 14.256)
135	14	14.036	2.894	(12.901; 15.170)
150	14	14.529	2.961	(13.394; 15.663)
165	14	15.214	2.984	(14.080; 16.349)
180	14	15.971	3.094	(14.837; 17.106)

*Desv.est. agrupada = 2.15054.*

En la tabla 21, se observa la media, desviación estándar y el intervalo de confianza de los resultados de altura de la planta de un periodo de 6 meses, donde la medición se realizó cada 15 días, como se observa las medias no son iguales esto quiere decir que los reguladores de crecimiento influyen en el tratamiento.

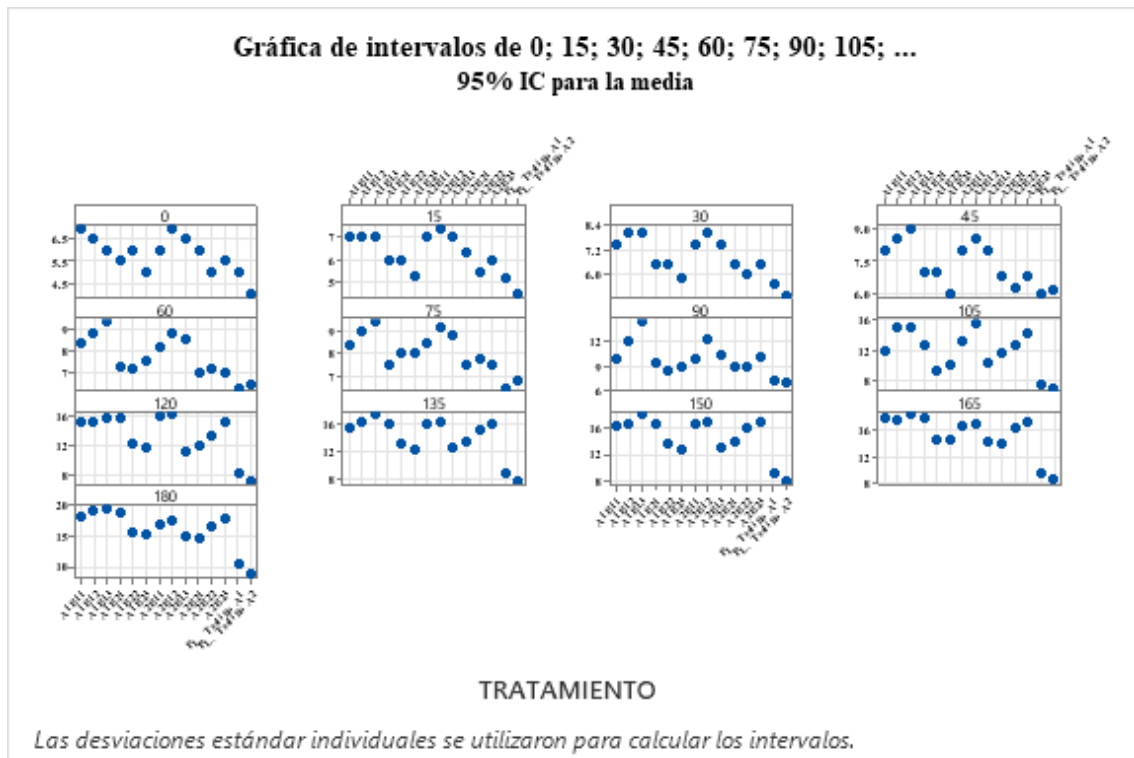


Figura 25. Grafica de intervalos de cada 15 días.

En la figura 25, se presentan de la altura de las plantas de cada tratamiento. La evaluación realizada evidenció diferencias altamente significativas, lo que demuestra que los reguladores de crecimiento influyen en el desarrollo de las especies vegetales. Los tratamientos que obtuvieron los valores más altos fueron A1B13 con hormona (19.5 cm) y A1B12 (19 cm). Por otro lado, los registros más bajos se presentaron en los tratamientos A2B21 con hormona (14.6 cm) y el Control A2 sin hormona (8.8 cm). En ese sentido Gloria et al. (2017) mencionan que tanto el genotipo como el origen de citoquininas afectan la respuesta al cultivo in vitro de segmentos nodales de diferentes variedades de castaño. Así, para crear un programa de propagación, es fundamental adaptar un protocolo particular para cada variedad.

#### 4.2.2. Cantidad de hojas de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

**Tabla 22**

Cantidad de hojas de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

TRATAMIENTO	CANTIDAD DE HOJAS DE LAS PLANTA CADA 15 DÍAS												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
A1B11	3	5	8	10	20	30	60	110	200	267	342	468	826
A1B12	3	7	9	16	18	25	38	98	213	294	362	564	848
A1B13	3	7	10	17	25	35	49	114	220	312	452	645	768
A1B21	2	6	8	12	18	24	58	112	223	324	412	638	815
A1B22	2	6	7	10	15	26	46	152	225	298	396	684	721
A1B23	3	7	7	9	17	27	36	123	268	279	392	468	634
A2B11	2	3	4	6	6	15	20	40	59	80	85	111	221
A2B12	3	4	4	6	7	14	25	35	68	79	112	135	254
A2B13	2	2	3	5	5	13	30	36	63	76	114	124	128
A2B21	1	2	3	5	5	12	40	59	74	81	96	132	198
A2B22	1	2	3	4	5	9	26	42	63	83	120	184	231
A2B23	2	2	3	4	4	15	36	52	71	87	135	169	190
PL. Testigo 1	2	3	6	9	14	22	30	68	92	165	189	224	489
PL. Testigo 2	1	2	3	5	9	12	12	18	24	38	54	98	128

En la tabla 22, se observa los resultados de cantidad de hojas de las dos especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, a diferentes tratamientos y la medición se desarrolló cada 15 días por un periodo de 6 meses, los datos que se muestran son de cada tratamiento a diferentes dosis que están codificadas.

**Tabla 23**

Análisis de varianza de cantidad de hojas.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	12	3643515	303626	21.57	0.000
Error	169	2378768	14076		
Total	181	6022283			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 23, se presenta el análisis de varianza de cantidad de hojas de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cada 15 días, a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos.

**Tabla 24**

Media, desv. est, IC, de la cantidad de hojas cada 15 días.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv.Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
0	14	2.143	0.770	(-60.452; 64.738)
15	14	4.143	2.107	(-58.452; 66.738)
30	14	5.571	2.563	(-57.023; 68.166)
45	14	8.43	4.26	(-54.17; 71.02)
60	14	12.00	6.93	(-50.59; 74.59)
75	14	19.93	8.03	(-42.67; 82.52)
90	14	36.14	13.79	(-26.45; 98.74)
105	14	75.6	41.5	(13.0; 138.2)
120	14	133.1	84.9	(70.5; 195.7)
135	14	175.9	111.5	(113.3; 238.5)
150	14	232.9	148.4	(170.3; 295.5)
165	14	331.7	230.7	(269.1; 394.3)
180	14	460.8	293.3	(398.2; 523.4)

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

Desv. est. agrupada = 118.640.

En la tabla 21, se observa la media, desviación estándar y el intervalo de confianza de los resultados del tamaño de la raíz de un periodo de 6 meses, donde la cuantificación se realizó cada 15 días, como se observa las medias no son iguales esto quiere decir que los reguladores de crecimiento influyen en el tratamiento.

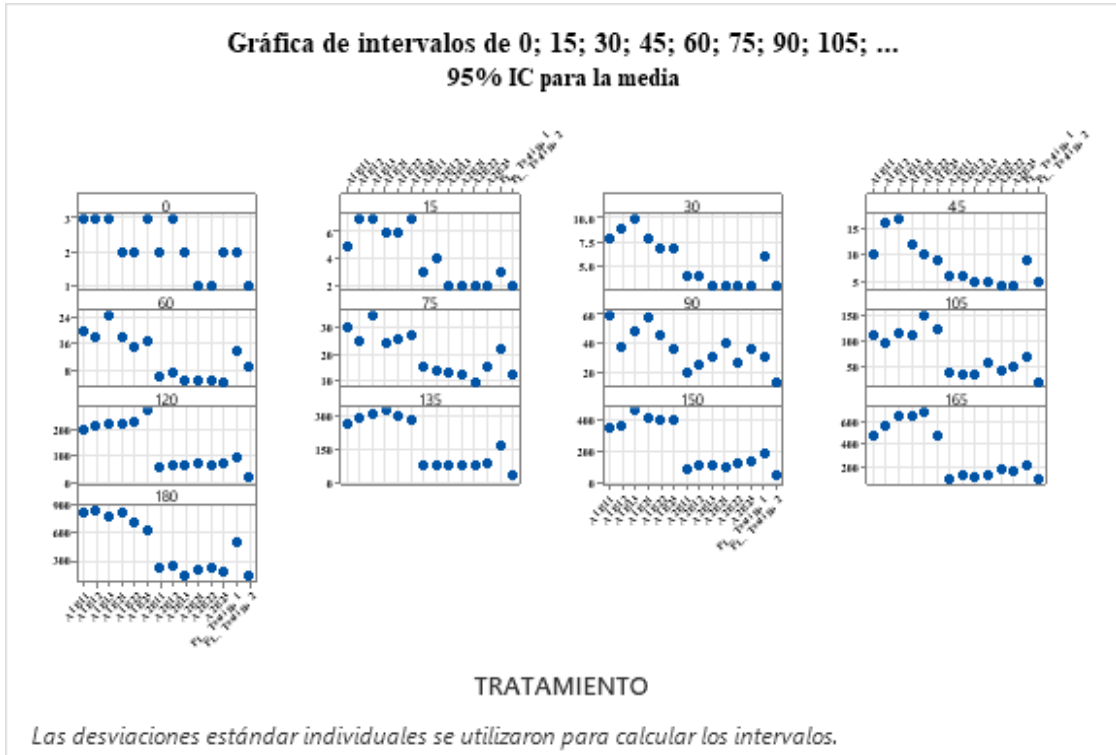


Figura 26. Grafica de intervalos cada 15 días de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

En la Figura 26, se presentan los resultados de la evaluación realizada, que evidencian diferencias altamente significativas, indicando que los reguladores de crecimiento influyen en el desarrollo de las especies vegetales. A los 180 días, el tratamiento A1B12 con hormona mostró el valor más alto, alcanzando 848 hojas. Los registros más bajos se encontraron en los tratamientos A2B13 con hormona (128 hojas) y el Control A2 sin hormona (128 hojas). Según Venegas et al. (2016) señalaron que la aplicación de 1.000 mg/L de GA4+7, un regulador de crecimiento, fue el tratamiento que indujo la mayor floración masculina, mostrando un aumento del 99.6 % en el número de estróbilos en comparación con las ramas testigo. Asimismo, se evidencio un efecto significativo en la longitud de los brotes apicales, duplicando la longitud comparada con el testigo. Por otro lado, se obtuvieron valores óptimos para la inducción de brotes adventicios en explantos de hojas y pecíolos de *Valeriana*

*officinalis* cuando se cultivaron callos organogénicos con un fenotipo compacto, nodular y verde amarillento, en medio MS suplementado con 9.30 µm de Kn y 2.26 µm de 2,4-D (Ghaderi & Jafari, 2014).

#### 4.2.3. Tamaño de la raíz de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

**Tabla 25**

Tamaño de la raíz de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

TAMAÑO DE LA RAÍZ DE LA PLANTA CADA 30 DÍAS							
ESPECIE	0	30	60	90	120	150	180
A1B11	5	12	18	24	26	28.3	31.3
A1B12	6	15	24	25.6	27.3	28.2	29
A1B13	7	14	22	24	25.6	26.3	27.8
A1B21	7	15	24	25.3	26.4	27.3	28.6
A1B22	8	16	22	23.2	24.6	25.6	28
A1B23	7	15	19	21	22.6	23.4	25.6
A2B11	5	7	9	11	12.3	14	16
A2B12	4	6	11	14	15.2	16.5	17
A2B13	4	6	10	12	13.6	14.2	15.2
A2B21	5	6.5	11	14.5	15.2	16.7	17.2
A2B22	5	7	12	13.6	14.2	15.3	16.4
A2B23	4	6	13	15.6	16.4	17.6	18.3
PL. Testigo A1	2	2.3	2.8	6.2	10.5	12.3	15.3
PL. Testigo A2	2	2.1	2.5	3.2	4.5	6.8	12.6

En la tabla 25, se observa los resultados de tamaño de raíz de las especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*, a diferentes tratamientos y la medición se desarrolló cada 30 días por un periodo de 6 meses, los datos que se muestran son de cada tratamiento a diferentes dosis que están codificadas.

## Análisis de Varianza

**Tabla 26**

Análisis de varianza tamaño de raíz de las especies de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	6	2859	476.53	12.05	0.000
Error	91	3598	39.54		
Total	97	6457			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22

En la tabla 26, se presenta el análisis de varianza de tamaño de la raíz de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* cada 30 días, bajo diferentes tratamientos. Al realizar la prueba de hipótesis, se obtuvo que el valor de  $F > P$ , lo que indica que existen diferencias significativas en la aplicación de tratamientos.

El empleo de fitohormonas en el cultivo de plantas ha demostrado ser efectivo en la mejora del crecimiento y desarrollo, como se indica en los hallazgos de esta investigación. Sin embargo, es crucial mencionar que, en la actualidad, existen pocas investigaciones que exploren el uso de fitohormonas en sectores donde podrían tener un impacto relevante. A pesar de que el potencial de estas hormonas es notable, el uso sigue siendo restringido debido a un limitado conocimiento y a una baja implementación en diferentes industrias. Como señalan Steven et al., (2019), aunque la utilización de fitohormonas podría proporcionar soluciones útiles para fomentar la reproducción y el crecimiento de plantas, es esencial investigar más a fondo su aplicación en campos especializados que actualmente cuentan con escasos estudios dirigidos hacia estas aplicaciones.

La limitada adopción de fitohormonas en sectores industriales puede ser atribuida a la carencia de protocolos bien establecidos, a la variabilidad en las reacciones de las especies y a la necesidad de ajustar las concentraciones para obtener resultados fiables. Por lo tanto, es crucial avanzar en la investigación sobre la incorporación de fitohormonas en industrias como la agricultura, la biotecnología y la biorremediación. Esto no solo permitirá aumentar

el rendimiento y la eficacia de los cultivos, sino que también podría abrir nuevas oportunidades para su aplicación en áreas industriales donde los beneficios de estas hormonas aún no se han explotado completamente.

**Tabla 27**

Media, desv. est, IC, de tamaño de raíz cada 30 días.

<b>Factor</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>IC de 95%</b>
0	14	5.071	1.817	(1.733; 8.410)
30	14	9.28	4.99	(5.94; 12.62)
60	14	14.31	7.28	(10.97; 17.65)
90	14	16.66	7.29	(13.32; 20.00)
120	14	18.17	7.16	(14.83; 21.51)
150	14	19.46	6.92	(16.13; 22.80)
180	14	21.31	6.58	(17.97; 24.65)

*Desv. est. Agrupada = 6.28821.*

En la tabla 27, se observa la media, desviación estándar y el intervalo de confianza de los resultados de tamaño de la raíz de un periodo de 6 meses, donde la medición se realizó cada 30 días, como se observa las medias no son iguales por lo cual nos indica que los reguladores de crecimiento influyen en el tratamiento.

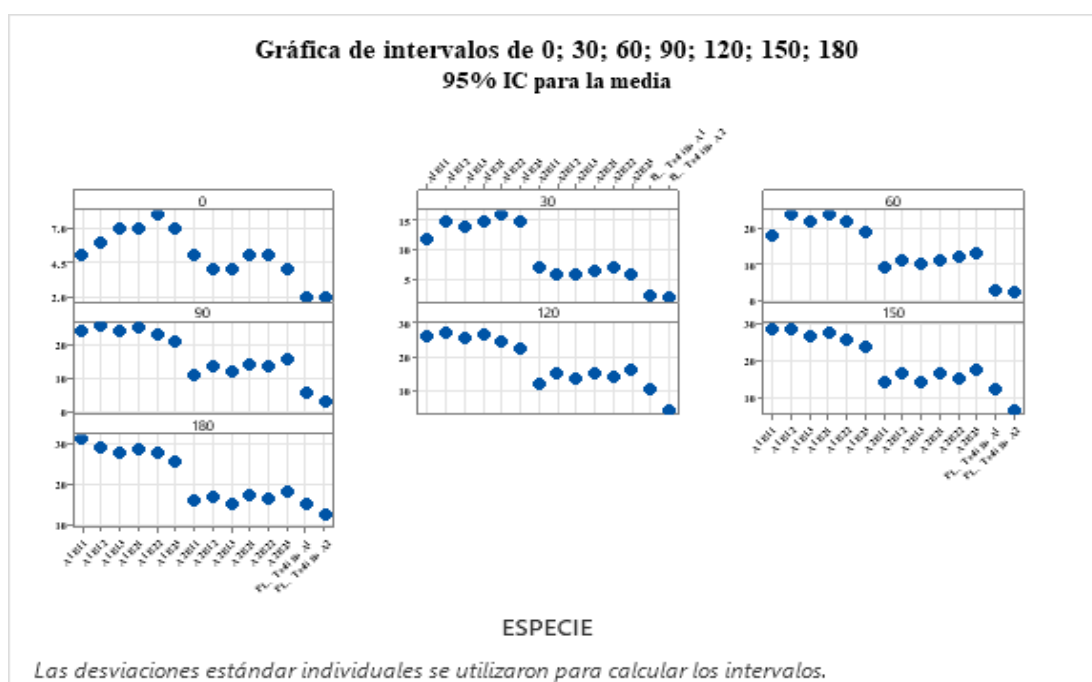


Figura 27. Grafica de intervalos, tamaño de la raíz de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*.

Según Thapa et al. (2024) indican que la mayor longitud de raíz ( $5,53 \pm 0,35$  cm) se observó en medios MS suplementados con 1.0 mg/L de ácido indol-3-butírico (IBA), aplicados a explantos nodales de la especie *Piper longum*. Por otro lado, el enraizamiento de brotes elevados in vitro con el mayor porcentaje de enraizamiento (90,42%) se logró en medio MS modificado con (1.0 mg/L) de ácido indolacético (AIA) y 1.0 mg/L de ácido indol-3-butírico (AIB) para la especie *Andrographis echioides* (Savitikadi et al., 2020).

#### 4.2.4. Determinación de Porcentaje de humedad de la planta y suelo

**Tabla 28**

Porcentaje de humedad de la planta y suelo.

ESPECIE	PI	PF	%H
A1	547.65	213.56	61.00
A2	544.32	218.6	59.84
SUELO			
S A2	576.54	273.25	52.61
S A1	487.69	178.96	63.30

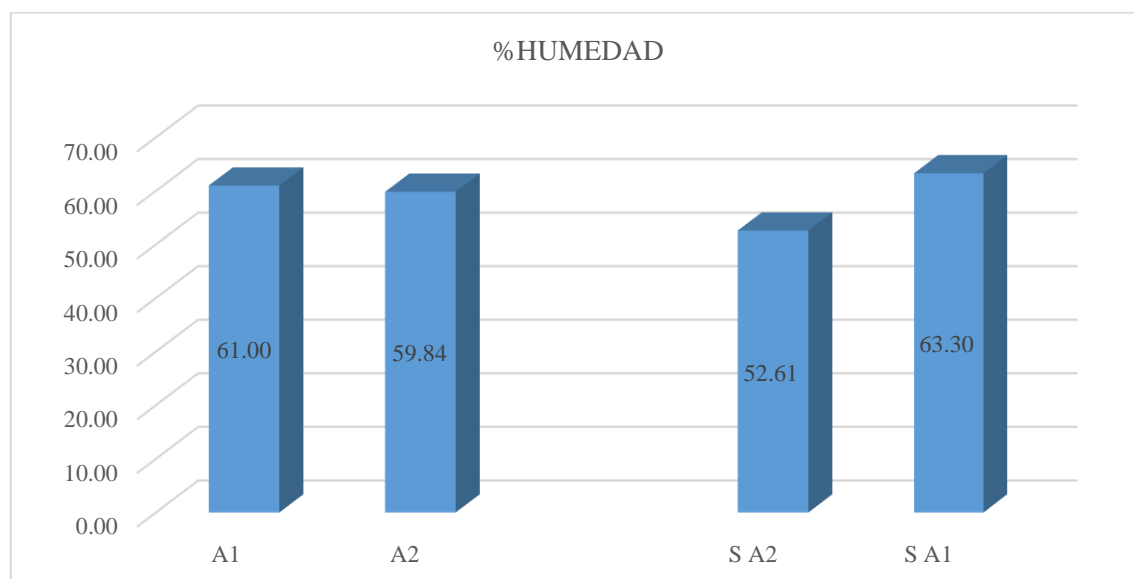


Figura 28. Porcentaje de humedad de las especies vegetales y suelo.

Rostami (2019), reportan que los estudios en este campo han demostrado que el uso de hormonas vegetales, como auxinas, giberelinas y citoquininas, adaptaría las plantas a estas condiciones, ya que las PGR podrían estimular el crecimiento de las plantas o reducir el estrés no biótico.

### 4.3. Factor de Traslocación y Bioacumulación de Pb, Cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla* de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero

#### 4.3.1. Factor de traslocación de *Pennisetum clandestinum*

**Tabla 29**

Factor de Traslocación de *Pennisetum Clandestinum*

Reg. crecimiento	tratamiento	Pb			Cd			As		
		T+H	raíces	F.TR	T+H	Raíces	F.TR	T+H	raíces	F.TR
	control	70.83	189.3	0.374	3.93	14.36	0.274	0.59	9.23	0.064
IBA	B11	67.37	110.9	0.608	30.16	12.72	2.371	1.44	5.38	0.268
	B12	62.36	200.6	0.311	8.58	27.06	0.317	3.91	6.63	0.59
	B13	86.13	211.6	0.407	13.89	40.84	0.34	2.31	9.77	0.236
KINETINA	B21	95.3	109.1	0.873	61.18	13.22	4.628	1.94	3.44	0.564
	B22	44.95	115.8	0.388	25.53	52.41	0.487	1.4	4.07	0.344
	B23	11.35	173.4	0.065	1.39	43.92	0.032	0.73	4.67	0.156

En la tabla 29, se muestra los resultados del factor de traslocación de *Pennisetum Clandestinum*, los resultados muestran que el tratamiento B11 y B21 son considerados traslocadoras, ya que el resultado F.TR > 1 en donde indica que son traslocadoras de cadmio y los F.TR < 1 son considerados estabilizadoras.

Se determino el factor de translocación (TF) para evaluar el potencial fitorremediador de las plantas estudiadas.

**Tabla 30**

Tabla ANOVA de factor de traslocación en *Pennisetum Clandestinum*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Metal	2	3.278	1.6388	2.04	0.173
Tratamiento	6	8.344	1.3907	1.73	0.197
Error	12	9.643	0.8036		
Total	20	21.265			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 30, se presenta el análisis de varianza del factor de traslocación en *Pennisetum Clandestinum* a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que hay diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

**Tabla 31**

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de traslocación en *Pennisetum Clandestinum*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
Metal		
As	0.317	0.339
Cd	1.207	0.339
Pb	0.432	0.339
Tratamiento		
B11	1.082	0.518
B12	0.406	0.518
B13	0.328	0.518
B21	2.022	0.518
B22	0.406	0.518
B23	0.084	0.518
Control	0.237	0.518

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la figura 29, se observa que el tratamiento con mayor acumulación de cadmio es el B21, que se clasifica como un tratamiento traslocador, mientras que el tratamiento B23 es considerado estabilizador, muestra menor acumulación de cadmio.

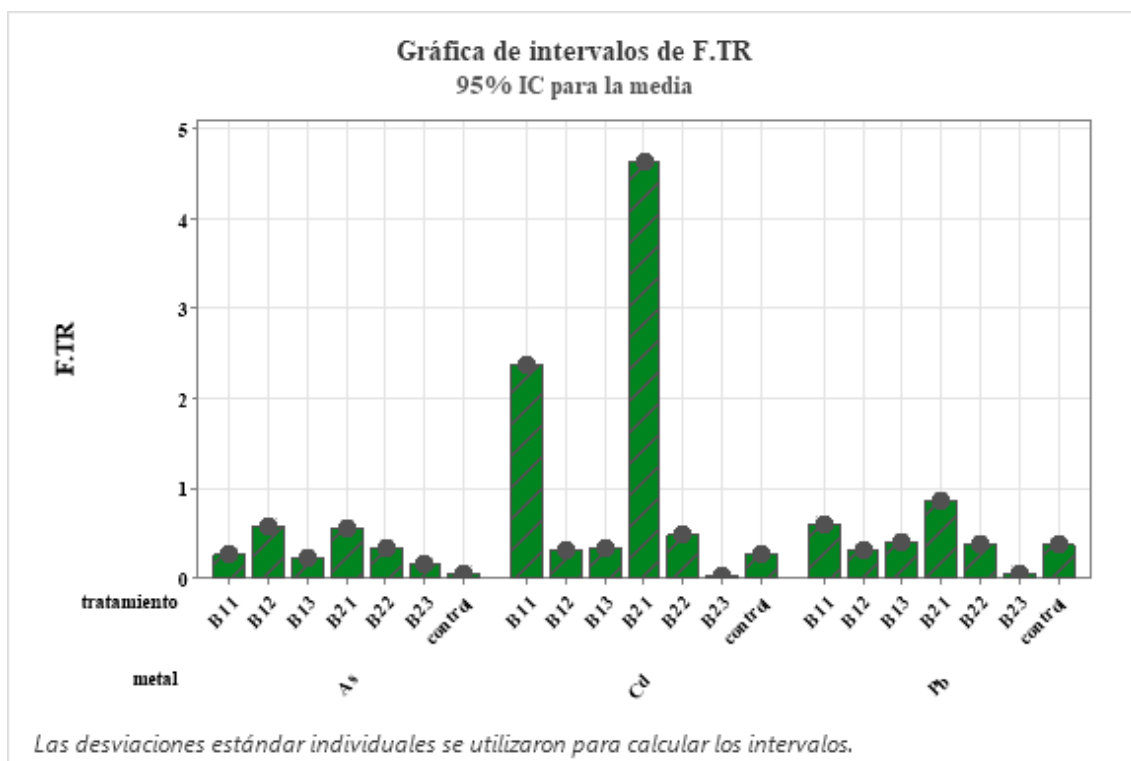


Figura 29. Intervalo de factor de traslocación en *Pennisetum Clandestinum*.

Fuente: Software Minitab V.2.

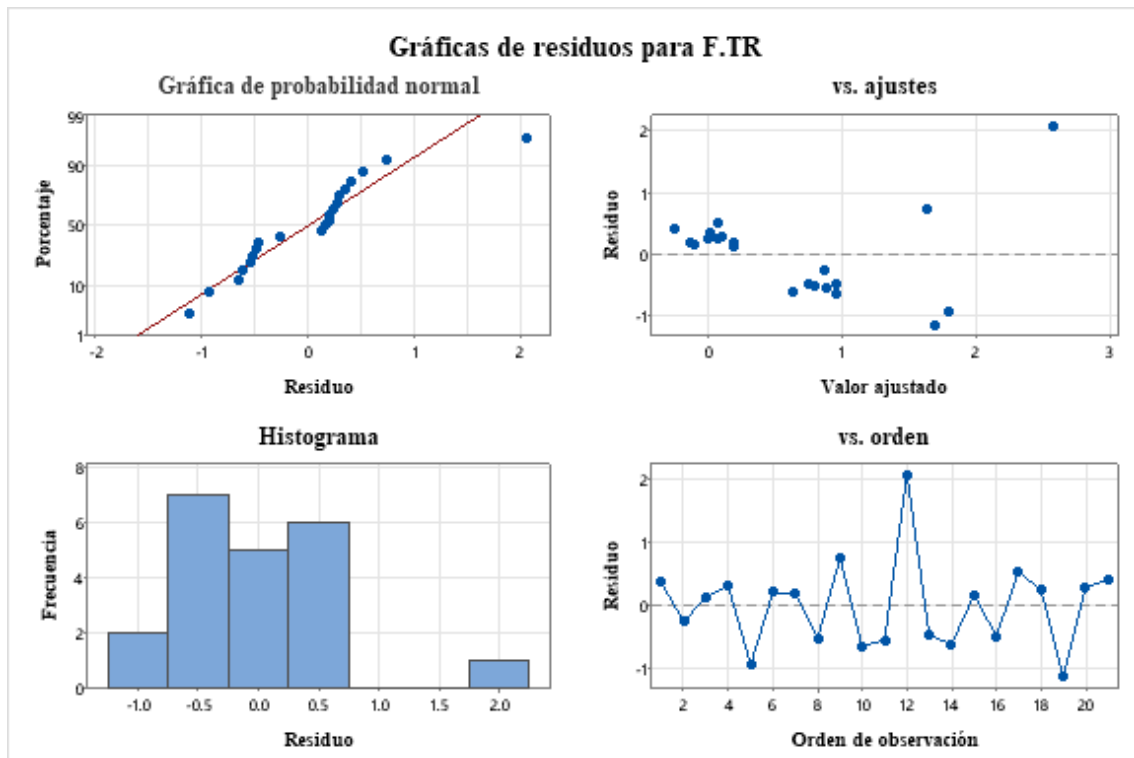


Figura 30. Grafica de residuos para factor de traslocación en *Pennisetum Clandestinum*.

Fuente: Software Minitab V.2.

En el presente estudio, se observó que el factor de traslocación (TF) de cadmio en *Pennisetum clandestinum* fue mayor a 1 cuando se aplicaron dosis de 1 mg/L de kinetina y de IBA, lo que indica una eficiente movilización del metal desde la raíz hacia la parte aérea. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Li et al., 2021), quienes reportaron que *Pennisetum purpureum* presentó  $TF > 1$  en concentraciones de 2 y 20 mg/kg de Cd, mostrando una alta capacidad de traslocación. Asimismo, Zheng et al. (2022), señalaron que *P. sinense* acumuló el Cd principalmente en los brotes debido a su elevada biomasa, característica que podría favorecer los procesos de fitorremediación. Por otro lado, Manorama et al. (2020) destacaron que la kinetina mejora el crecimiento vegetal bajo estrés por cadmio, favoreciendo una distribución más controlada del metal en los tejidos, mientras que Ahanger et al. (2020), señalaron que el ácido indolbutírico (IBA) reduce el daño celular por Cd en plántulas de *Hordeum vulgare* y promueve cambios estructurales que podrían influir en su transporte interno. De este modo, se puede inferir que la aplicación de estas fitohormonas en *P. clandestinum* no solo mejora su tolerancia al Cd, sino también optimiza su capacidad de traslocarlo, reforzando su potencial para la fitorremediación de suelos contaminados.

Según Barros et al. (2005), (*Pennisetum sp.*) fue capaz de mover plomo hacia las partes aéreas de la planta en mayor medida que otras especies. Las cantidades detectadas en la parte aérea de las plantas de las áreas contaminadas de forma intencionada fueron de 0.001% en la bermuda híbrida (*Cynodon sp.*), 0.002% en el gramillón (*Stenotaphrum sp.*) y 0.003% en kikuyo (*Pennisetum sp.*), lo cual estaba muy por debajo del límite de 0.1% que se acepta para catalogar a una planta como hiperacumuladora de plomo, según (Raskin et al., 2000). Por otro lado Jia et al. (2022) indican que el factor de traslocación (TF) de *Pennisetum* se elevó, superando el valor de 1 en todas las concentraciones de cromo (Cr). En contraste, Wu et al. (2023) reportaron que el factor de traslocación en *Pennisetum clandestinum* fue menor a 0.5 en todos los grupos tratados con cadmio (Cd). Por otro lado, Jara (2017), apunta que la mayor concentración de cadmio se encontró en las raíces de *Calamagrostis rigida* en muestras tomadas de la laguna de Yuracmayo, en la región de Lima, alcanzando 7.93 mg/kg de materia seca.

#### 4.3.2. Factor de traslocación de *Festuca dolichophylla*.

**Tabla 32**

Tabla de resultados de factor de traslocación de *Festuca dolichophylla*.

RC	Tratamiento	PB			Cd			As		
		T+H	raíces	F.TR	T+H	raíces	F.TR	T+H	raíces	F.TR
	Control	15.46	109.6	0.141	2.93	39.56	0.074	0.4	0.79	0.506
IBA	B11	47.2	94.86	0.498	8.4	14.78	0.568	1.21	1.2	1.008
	B12	84.97	105.9	0.803	17.12	22.56	0.759	3.255	4.19	0.777
	B13	58.24	126.4	0.461	6.4	28.83	0.222	1.48	7.41	0.2
KIN ETI NA	B21	66.35	136.2	0.487	9.85	28.61	0.344	0.98	0.86	1.14
	B22	116.8	146.5	0.797	10.1	34.81	0.29	1.79	2.57	0.696
	B23	19.38	117.5	0.165	0.5	32.87	0.015	0.82	3.57	0.23

En la tabla 32, se muestra los resultados del factor de traslocación de *Festuca dolichophylla*, los resultados muestran que el tratamiento B11 y B21 son considerados traslocadoras, ya que el resultado  $F.TR > 1$  en donde indica que son traslocadoras de Arsénico y los  $F.TR < 1$  son considerados estabilizadoras.

### Análisis de Varianza

**Tabla 33**

Tabla ANOVA de factor de traslocación en *Festuca dolichophylla*.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metal	2	0.3733	18.69%	0.3733	0.18666	4.88	0.028
Tratamiento	6	1.1655	58.34%	1.1655	0.19425	5.08	0.008
Error	12	0.4591	22.98%	0.4591	0.03825		
Total	20	1.9978	100.00%				

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 33, se presenta el análisis de varianza del factor de traslocación en *Festuca dolichophylla* a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que hay diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

**Tabla 34**

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de traslocación en *Festuca dolichophylla*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
Metal		
As	0.6510	0.0739
Cd	0.3246	0.0739
Pb	0.4789	0.0739
Tratamiento		
B11	0.691	0.113
B12	0.780	0.113
B13	0.294	0.113
B21	0.657	0.113
B22	0.594	0.113
B23	0.137	0.113
Control	0.240	0.113

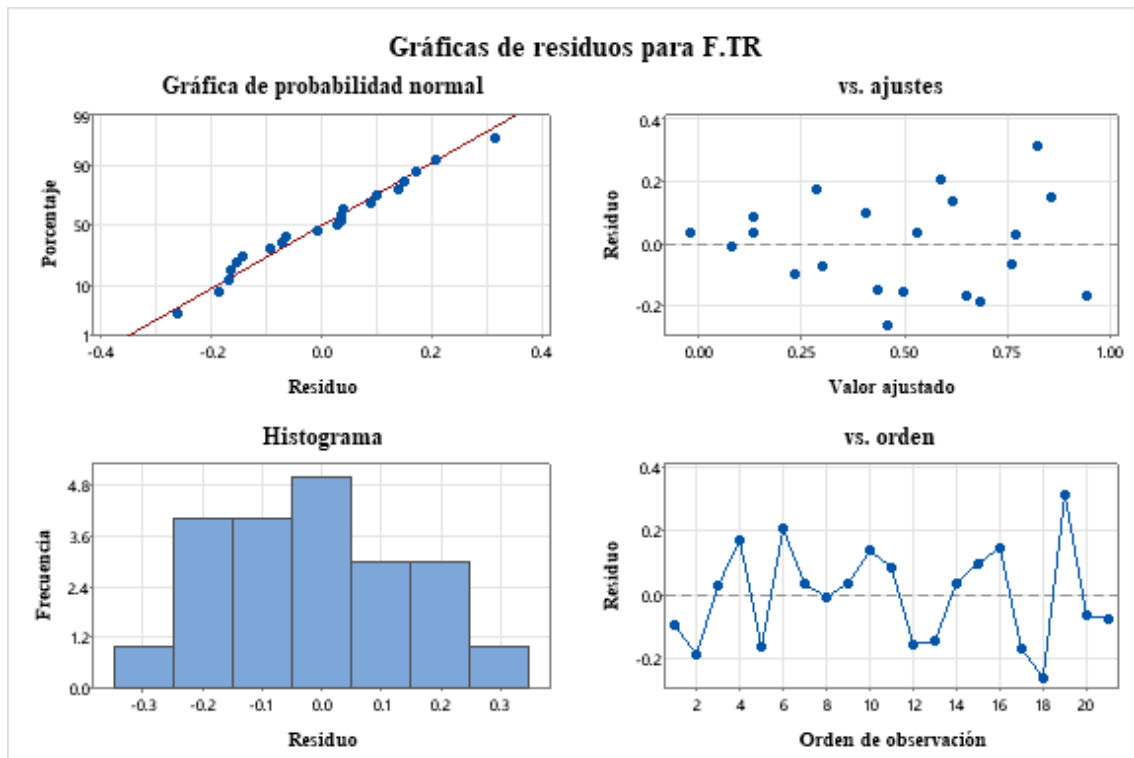


Figura 31. Grafica de residuos para factor de traslocación de *Festuca dolichophylla*.

En la figura 31, se observa el tratamiento con mayor acumulación de arsénico es el B21 y B11, que se clasifica como tratamientos traslocadores, mientras que el tratamiento B23, considerado estabilizador, muestra la menor acumulación de arsénico.

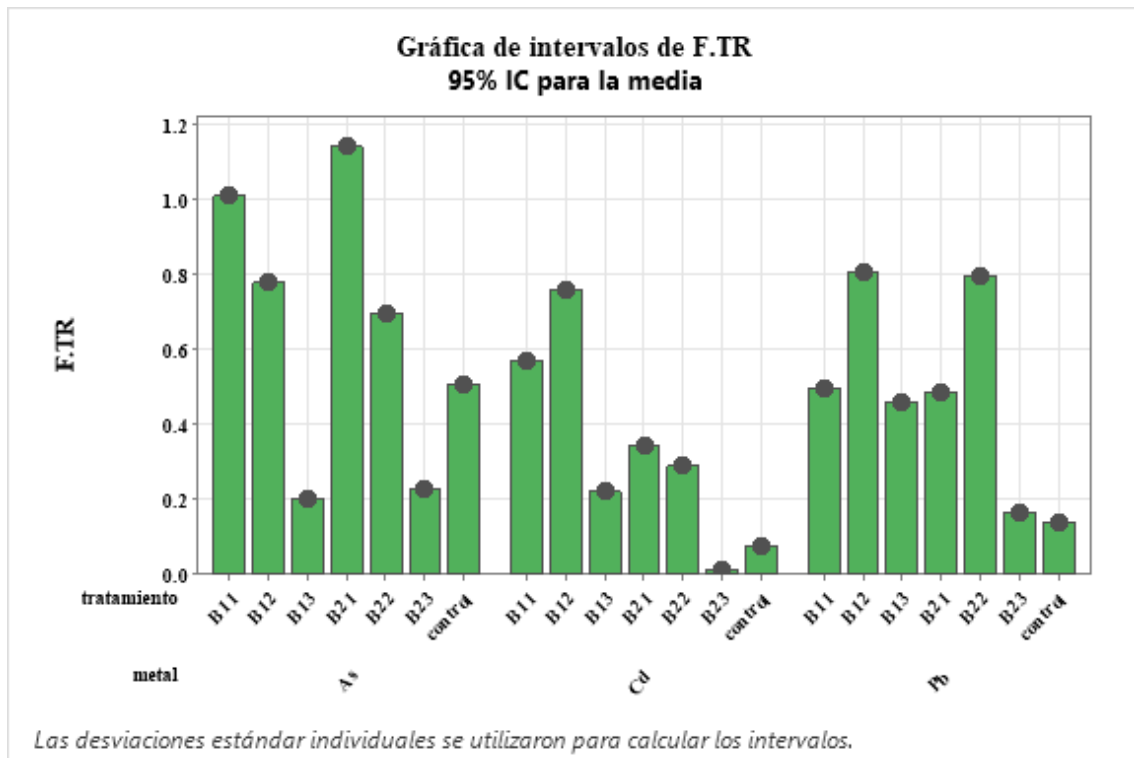


Figura 32. Intervalo de factor de traslocación de *Festuca dolichophylla*.

En el presente estudio, se observó que *Festuca dolichophylla* presentó factores de traslocación (TF) de arsénico superiores a 1 bajo la aplicación de 1 mg/L de kinetina e IBA, lo cual indica una eficiente movilización del metaloide desde las raíces hacia la parte aérea. Estos resultados coinciden con lo reportado por Mojan et al. (2016), quienes encontraron una alta translocación de As en gramíneas como el arroz bajo estrés, lo que demuestra la capacidad de estas especies para movilizar metaloides desde el sistema radical. De igual modo, (Tu et al., 2021), destacaron que el uso de reguladores de crecimiento vegetal, como auxinas y citoquininas, puede modular la absorción y traslocación de arsénico, mejorando el crecimiento vegetal bajo estrés tóxico. En esta línea Ashraf et al. (2023) demostraron que las fitohormonas pueden inducir modificaciones morfofisiológicas en raíces y brotes que optimizan la distribución de metales como el As.

No obstante, la capacidad de translocación observada en *F. dolichophylla* difiere de lo reportado por Jia et al. (2022), quienes indicaron que el TF en *Festuca arundinacea* se mantuvo bajo (~0.1), lo que resalta una posible variabilidad interespecífica dentro del género *Festuca*. Este contraste puede deberse al tipo de metal, condiciones del ensayo, o al uso de fitohormonas que, como se ha demostrado en este estudio, potencian la movilidad del As. En esa misma línea, Zhou et al. (2023), encontraron que en *Pennisetum giganteum*, las raíces acumulan aproximadamente diez veces más Hg que los tejidos aéreos, lo que muestra un

patrón opuesto de acumulación, evidenciando la diversidad funcional dentro de la familia Poaceae.

Por otro lado, investigaciones en especies relacionadas han reportado comportamientos intermedios. Por ejemplo, Venegas (2016) y Romero et al. (2021) documentaron que *Stipa ichu* (también Poaceae) tiene la capacidad de acumular metales pesados en raíces y, en algunos casos, translocarlos con eficiencia. *Stipa ichu* alcanzó TF superiores a 1 para varios metales, como Cu, Fe, Pb, Zn y Cd, lo que respalda la hipótesis de que otras especies del mismo grupo funcional pueden poseer capacidades similares bajo ciertos estímulos hormonales o condiciones ambientales. No obstante, Steliga y Klu (2020) encontraron que en *Festuca arundinacea*, el plomo fue el metal más translocado, pero con un TF promedio aún bajo (0.53), mientras que el cadmio y níquel apenas se movilizaron, lo que reafirma que no todas las especies de *Festuca* comparten una capacidad elevada de translocación.

Asimismo, el uso de *Pennisetum* como planta modelo en fitorremediación ha sido respaldado por Rahman et al. (2024), quienes reportaron que *Pennisetum purpureum* fue capaz de absorber hasta 1549.26 mg/kg de As(V) en condiciones controladas, lo cual refuerza el potencial del grupo Poaceae para la remoción de contaminantes metálicos. Aunque en el presente estudio *P. clandestinum* no mostró TF > 1 para As, su acumulación radicular sigue siendo significativa y complementaria para un sistema de fitorremediación basado en sinergias entre especies.

Finalmente, la literatura ha resaltado que la translocación de metales como el Pb y Cd es un fenómeno complejo, determinado por múltiples factores fisiológicos, ambientales y genéticos García et al. (2021). El hallazgo de que *F. dolichophylla* puede movilizar eficientemente el As hacia tejidos aéreos bajo la acción de reguladores como IBA y kinetina la posiciona como una candidata prometedora para estrategias de limpieza de suelos contaminados.

#### 4.3.3. Factor de bioacumulación de *Pennisetum clandestinum*.

**Tabla 35**

Tabla de resultados de factor de bioacumulación en la parte aérea (tallo y hojas) en *Pennisetum clandestinum*.

RC	TR. C	Pb			Cd			As		
		Cplanta	Csuelo	BCF	Cplanta	Csuelo	BCF	Cplanta	Csuelo	BCF
	control	70.83	851.71	0.08	3.93	98.57	0.04	0.59	29.89	0.02
	B11	67.37	620.84	0.11	30.16	64.6	0.47	1.44	15.83	0.09
IBA	B12	62.363	196.69	0.32	8.58	21.98	0.39	3.91	11.03	0.35
	B13	86.13	220.35	0.39	13.89	6.95	2.00	2.31	17.58	0.13
	B21	95.3	268.56	0.35	61.18	44.7	1.37	1.94	12.89	0.15
KINETINA	B22	44.95	215.06	0.21	25.53	32.79	0.78	1.4	10.65	0.13
	B23	11.35	196.74	0.06	1.39	21.61	0.06	0.73	11.36	0.06

En la tabla 35, se presenta los resultados del Factor de bioacumulación en la parte aérea de *Pennisetum clandestinum*, los datos muestran que los tratamientos B13 y B21 registran En este contexto, *Pennisetum clandestinum* mostró una notable capacidad de acumulación de cadmio, lo cual se atribuye, en parte, a la influencia de los reguladores de crecimiento utilizados en los tratamientos. Específicamente, la dosis de 10 mg/L de ácido indolbutírico (IBA) aplicada en el tratamiento B13 tuvo un efecto más significativo en la bioacumulación que las dosis más bajas. Asimismo, la inclusión de kinetina a 1 mg/L en el tratamiento B21 también mostró un efecto positivo, destacándose como una combinación eficaz en la estimulación de la absorción de cadmio en la parte aérea.

En contraste, los metales arsénico y plomo no superaron el umbral de  $BCF > 1$ , por lo que *Pennisetum clandestinum* actuó como especie indicadora frente a estos elementos. Estos resultados evidencian que la respuesta de la planta varía según el tipo de metal pesado, y que el uso de reguladores de crecimiento puede modular dicha respuesta de forma significativa.

valores mayores a uno, lo que indica que son acumuladores y, por tanto, considerados tolerantes, ya que el resultado  $BCF > 1$  indica que son acumuladoras y los  $BCF < 1$  son considerados indicadoras.

**Tabla 36**

Tabla de ANOVA de bioacumulación de *Pennisetum clandestinum*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
METAL	2	1.454	0.7271	4.88	0.028
TRATAMIENTO	6	1.519	0.2531	1.70	0.204
Error	12	1.788	0.1490		
Total	20	4.761			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 36, se presenta el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la parte aérea de *Pennisetum clandestinum* a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que hay diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

**Tabla 37**

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación de *Pennisetum clandestinum*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
METAL		
As	0.135	0.146
Cd	0.730	0.146
Pb	0.217	0.146
TRATAMIENTO		
B11	0.222	0.223
B12	0.354	0.223
B13	0.840	0.223
B21	0.625	0.223
B22	0.373	0.223
B23	0.062	0.223
Control	0.048	0.223

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 37, se muestra la media justada de los metales y tratamientos, así el error estándar de la media, esto nos indica que las medias de los tratamientos no son iguales.

En la figura 33, se muestra la gráfica de probabilidad normal, donde se puede verificar que los puntos se alinean o están próximos a la línea de normalidad. Esto nos lleva a concluir que los tratamientos exhiben una distribución normal. En la gráfica que relaciona los residuos con el orden de las observaciones, se observa que los errores no siguen ningún patrón y están dispersos de manera aleatoria. se presenta la gráfica de probabilidad normal, en el cual podemos corroborar que los puntos se ajustan o se encuentran cerca de la línea de normalidad. Esto nos permite afirmar que los tratamientos muestran una distribución normal. En la

gráfica de residuos Vs orden de observaciones se aprecia que los errores no presentan un patrón, están distribuidos de manera aleatoria.

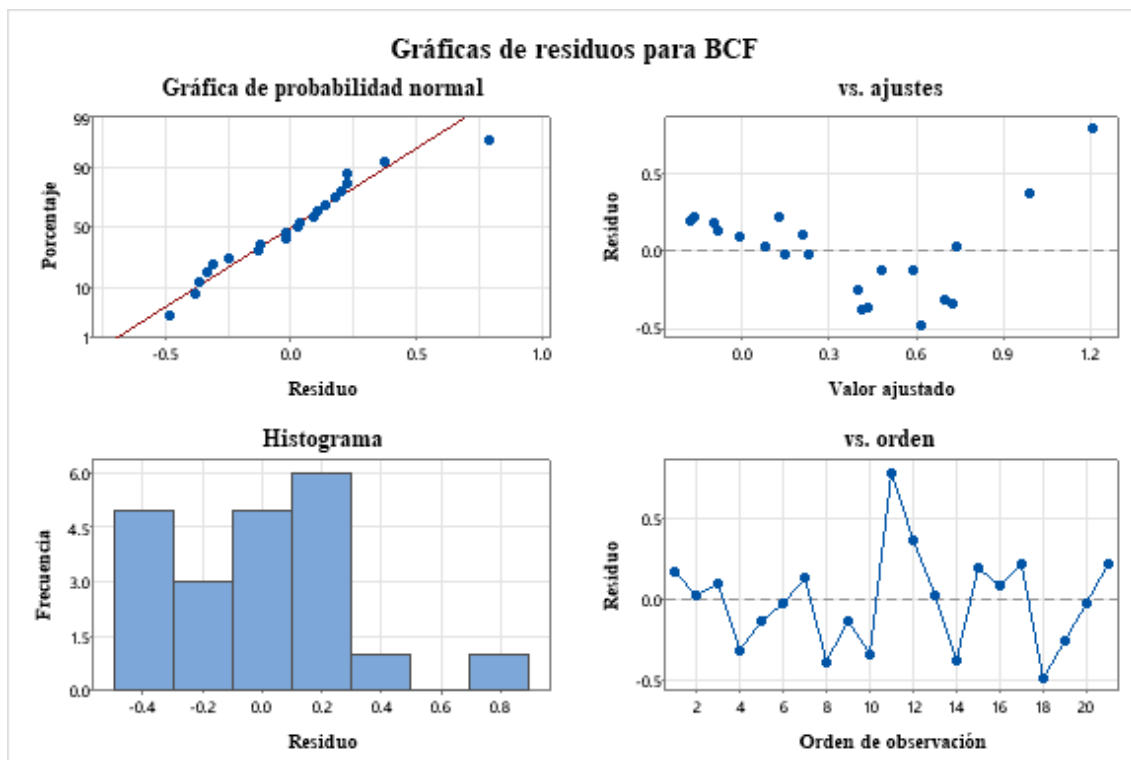


Figura 33. Gráfica de residuos de factor de bioacumulación de *Pennisetum clandestinum*.

En la Figura 34, se observa los tratamientos B13 y B21 presentan la mayor acumulación de cadmio, siendo clasificados como bioacumuladores. En contraste, los tratamientos B23 (con hormona) y el tratamiento de control (sin hormona) muestran la menor acumulación, y se consideran indicadores debido a su capacidad reducida para acumular cadmio.

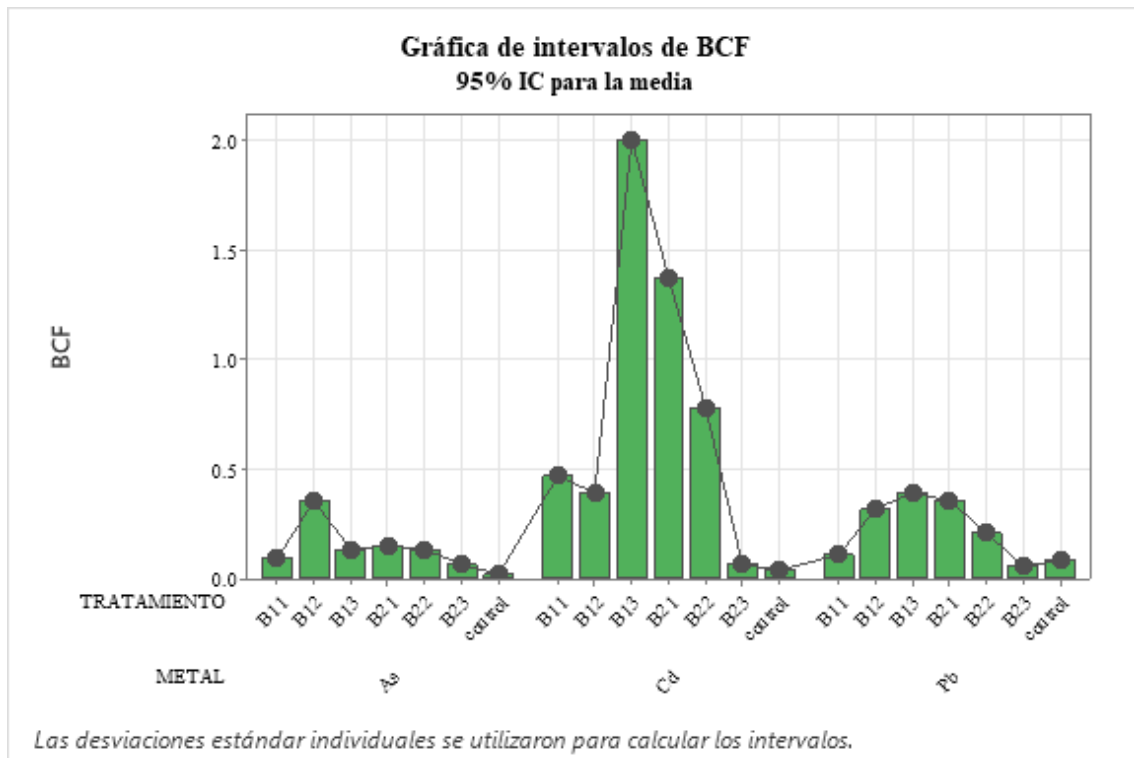


Figura 34. Intervalos de factor de bioacumulación de *Pennisetum clandestinum*.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, donde *Pennisetum clandestinum* alcanzó un BCF >1 para Cd bajo la aplicación 1mg/L de kinetina y 10 mg/l de IBA, coinciden con los hallazgos de Lu et al. (2014), quien reportó una elevada acumulación de Cd en esta especie, destacando su potencial para la fitoextracción. Este comportamiento puede atribuirse tanto a la movilidad del Cd en el suelo Li et al. (2018) como al efecto de reguladores de crecimiento como la kinetina, la cual, según Bashri et al. (2021) y Asgher et al. (2014), puede activar rutas fisiológicas asociadas a la absorción y tolerancia al metal, incluyendo la modulación de transportadores metálicos y mecanismos antioxidantes. Demecsová et al. (2020) refuerzan que el uso de reguladores como el IBA mejora tanto la absorción como la tolerancia a Cd, a través de mejoras en el desarrollo radicular y en la respuesta antioxidante. Esto sugiere que, más allá de la especie, el tipo de fitorregulador empleado influye significativamente en la eficiencia de acumulación. En conjunto, los datos respaldan que *P. clandestinum*, en presencia de kinetina, actúa como bioacumuladora selectiva de Cd, aunque su eficiencia disminuye frente a otros metales como Pb y As, cuya acumulación fue baja.

**Tabla 38**

Tabla de resultados de factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum*.

R.C	TR.C	Pb			Cd			As		
		Craiz	Csuelo	BCFR	Craiz	Csuelo	BCFR	Craiz	Csuelo	BCFR
	control	189.30	851.71	0.22	14.36	98.57	0.15	9.23	29.89	0.31
	B11	110.85	620.84	0.18	12.72	64.60	0.20	5.38	15.83	0.34
IBA	B12	200.61	196.69	1.02	27.06	21.98	1.23	6.63	11.03	0.60
	B13	211.57	220.35	0.96	40.84	6.95	5.88	9.77	17.58	0.56
	B21	109.11	268.56	0.41	13.22	44.70	0.30	3.44	12.89	0.27
KINETINA	B22	115.76	215.06	0.54	52.41	32.79	1.60	4.07	10.65	0.38
	B23	173.44	196.74	0.88	43.92	21.61	2.03	4.67	11.36	0.41

En la Tabla 38, se presentan los resultados del Factor de Bioacumulación (BCF) en las raíces de *Pennisetum clandestinum*. Los tratamientos B12, B13 y B22 muestran un BCF > 1, lo que indica que estas plantas son acumuladoras y, por lo tanto, se consideran tolerantes a la contaminación por metales pesados. En cambio, los tratamientos con BCF < 1 se clasifican como indicadores, ya que presentan una menor capacidad de acumulación de metales. Los resultados indican que *Pennisetum clandestinum* es capaz de acumular cadmio y plomo en sus raíces, mientras que el arsénico no alcanza un BCF > 1, lo que lo convierte en un indicador para este metal. Esta diferencia en la acumulación puede estar influenciada por los reguladores de crecimiento, en especial las dosis de 5 mg/L y 10 mg/L de IBA, que mostraron un efecto más pronunciado en la acumulación de cadmio. En comparación, la aplicación de kinetina (5 mg/L) resalta en el tratamiento con cadmio, favoreciendo su acumulación en las raíces.

En la presente investigación, se observó que el factor de bioconcentración (BCF) en raíces fue mayor a 1 en *Pennisetum clandestinum* tratado con 5 mg/L de IBA para plomo, así como con 5 y 10 mg/L de IBA y kinetina para cadmio, lo que indica una eficiente acumulación de metales pesados en los tejidos radiculares. Esta relación indica una eficiente absorción y acumulación del metal desde el suelo hacia la raíz. De acuerdo con Zhang et al. (2023), se

reportó un BCF menor a 1 en las partes aéreas y mayor a 1 en las raíces de *Pennisetum clandestinum*, lo que concuerda con los resultados obtenidos, al evidenciar que esta especie no actúa como acumuladora de Cd en su parte aérea, pero sí muestra una alta capacidad de retención en el sistema radicular. Asimismo Sytar et al., (2019), demostraron que la aplicación de IBA en *Hordeum vulgare* indujo respuestas antioxidantes como la activación de glutatión peroxidasa, las cuales protegen los tejidos frente al estrés por cadmio y permiten una mayor retención del metal en las raíces. Además, los hallazgos de Jia et al. (2022) respaldan la noción de que las especies del género *Pennisetum* son muy eficaces en la fitorremediación de suelos afectados por contaminantes, en particular los que contienen cromo (Cr). Estas especies no solo exhiben una notable habilidad para acumular cromo, sino que también tienen un rápido crecimiento, buena capacidad de propagación, biomasa aérea abundante y gran adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Esta habilidad de *Pennisetum* para tratar metales pesados en su interior y su capacidad de ajustarse a diversos entornos resaltan su promesa en la recuperación de suelos contaminados.

En conjunto, nuestros resultados confirman que la aplicación de IBA y kinetina contribuye a una mayor retención de metales en las raíces de *Pennisetum clandestinum*, y respaldan su potencial uso en procesos de fitoestabilización de suelos contaminados con cadmio y plomo.

### Tabla 39

Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum*.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
METAL	2	5.983	2.991	2.55	0.119
TRATAMIENTO	6	11.154	1.859	1.58	0.234
Error	12	14.077	1.173		
Total	20	31.214			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 39, se presenta el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum* a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que hay diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

**Tabla 40**

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
METAL		
As	0.409	0.409
Cd	1.625	0.409
Pb	0.601	0.409
TRATAMIENTO		
B11	0.238	0.625
B12	0.951	0.625
B13	2.464	0.625
B21	0.323	0.625
B22	0.840	0.625
B23	1.108	0.625
Control	0.226	0.625

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 40 se presentan las medias ajustadas de los metales y tratamientos, así como el error estándar de la media, lo que indica que las medias de los tratamientos no son iguales, reflejando diferencias significativas entre ellos.

En la Figura 35 se observa que los tratamientos B12, B13, B22 y B23 presentan la mayor acumulación de cadmio en las raíces, lo que los clasifica como bioacumuladores. En cuanto a la acumulación de plomo, los tratamientos B12 y B13 muestran los valores más altos, mientras que los tratamientos B11 (con hormona) y el tratamiento de control (sin hormona) presentan la menor acumulación, siendo clasificados como indicadores.

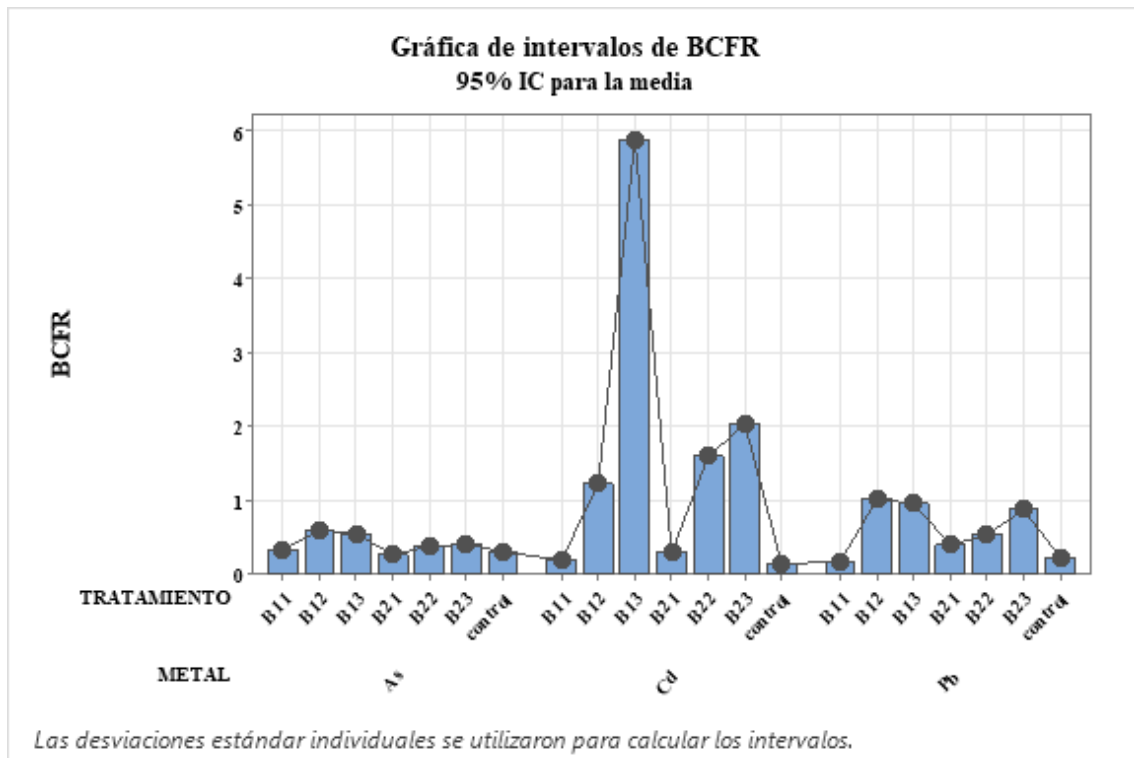


Figura 35. Intervalos de factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum*.

La figura 36, presenta la gráfica de probabilidad normal, donde se puede observar que los datos se alinean o se encuentran próximos a la línea que indica normalidad, lo que nos permite concluir que el tratamiento parece tener una distribución normal. En la gráfica que muestra los residuos frente al orden de las observaciones, se puede notar que los errores no siguen un patrón específico, sino que están distribuidos aleatoriamente.

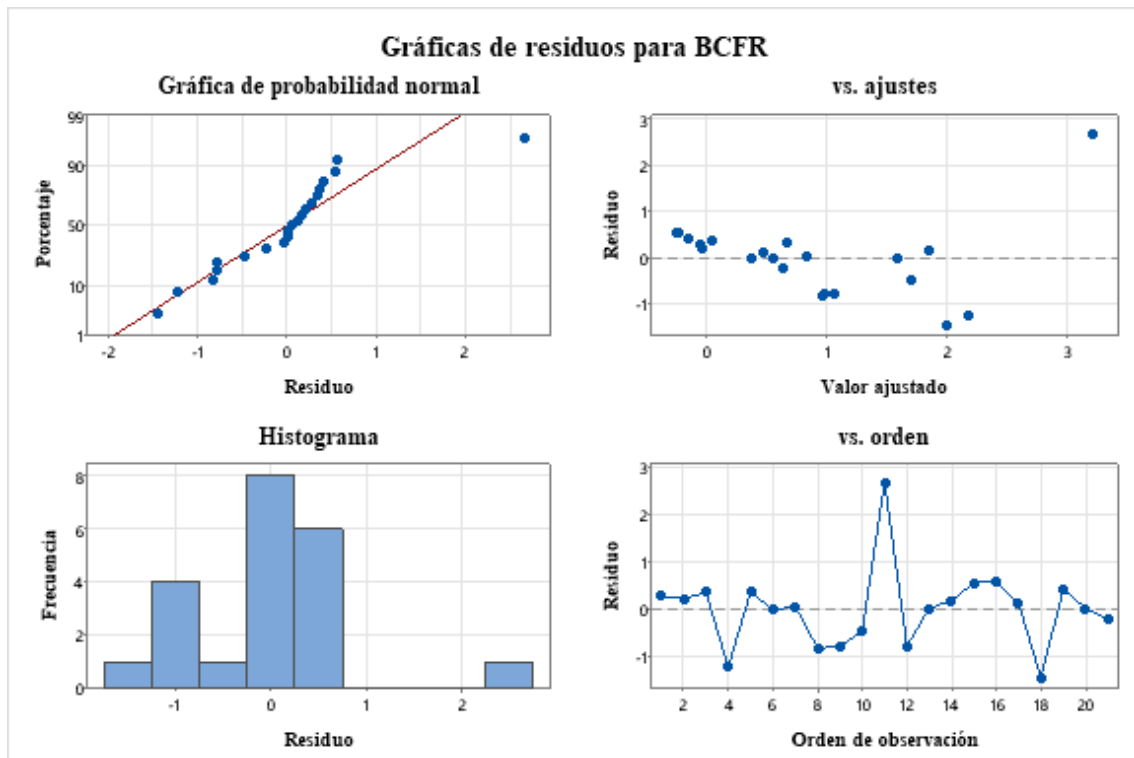


Figura 36. Gráfica de residuos de factor de bioacumulación en la raíz de *Pennisetum clandestinum*.

#### 4.3.4. Factor de bioacumulación de *Festuca dolichophylla*.

**Tabla 41**

Resultados de factor de bioacumulación en la parte aérea (tallos y hojas) de *Festuca dolichophylla*.

R.C	TR.C	Pb			Cd			As		BC F
		Cplanta	Csuelo	BCF	Cplanta	Csuelo	BCF	Cplanta	Csuelo	
	control	15.46	851.71	0.02	2.93	98.57	0.03	0.40	29.89	0.01
	B11	47.20	571.33	0.08	8.40	45.28	0.19	1.21	21.36	0.06
IBA	B12	84.97	336.91	0.25	17.12	35.59	0.48	3.26	17.15	0.19
	B13	58.24	276.53	0.21	6.40	23.44	0.27	1.48	13.32	0.11
	B21	66.35	253.84	0.26	9.85	21.32	0.46	0.98	10.78	0.09
KINETINA	B22	116.80	233.62	0.50	10.10	19.74	0.51	1.79	12.54	0.14
	B23	19.38	265.16	0.07	0.50	37.83	0.01	0.82	11.33	0.07

En la tabla 41, se muestra el Factor de bioacumulación en la parte aérea, de *Festuca dolichophylla*, los resultados muestran que el tratamiento B22 es el más alto con 0.5, por lo cual no es mayor a uno y no son considerados tolerantes, ya que si  $BCF > 1$ , indica que son acumuladoras y los  $BCF < 1$  son considerados indicadores. Sin embargo, los resultados muestran que no son acumuladoras de estos metales.

**Tabla 42**

Tabla de ANOVA de factor de bioacumulación de *Festuca dolichophylla*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
METAL	2	0.1175	0.058757	6.32	0.013
TRATAMIENTO	6	0.3381	0.056350	6.06	0.004
Error	12	0.1116	0.009299		
Total	20	0.5672			

Fuente: Datos procesados en el software Minitab V.22.

En la tabla 42, se presenta el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la parte aérea de *Festuca dolichophylla* a diferentes tratamientos. Al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F > P$ , indicando que hay diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

### Tabla 43

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la parte aérea de *Festuca dolichophylla*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
METAL		
As	0.0967	0.0364
Cd	0.2795	0.0364
Pb	0.1997	0.0364
TRATAMIENTO		
B11	0.1083	0.0557
B12	0.3077	0.0557
B13	0.1983	0.0557
B21	0.2714	0.0557
B22	0.3848	0.0557
B23	0.0529	0.0557
Control	0.0204	0.0557

Fuente: Datos analizados en el software Minitab V.22.

En la tabla 43, se muestra la media corregida de los metales y tratamientos, además del error estándar de la media, lo que sugiere que las medias de los tratamientos son diferentes.

En la Figura 37, se observa que los tratamientos B12, B21 y B22 presentan mayor acumulación de cadmio en la parte aérea, mientras que el tratamiento B12 muestra la mayor acumulación de plomo. En cuanto al arsénico, el tratamiento B12 es el que muestra la mayor acumulación. Por otro lado, los tratamientos B23 (con hormona) y el tratamiento de control (sin hormona) presentan la menor acumulación de estos metales.

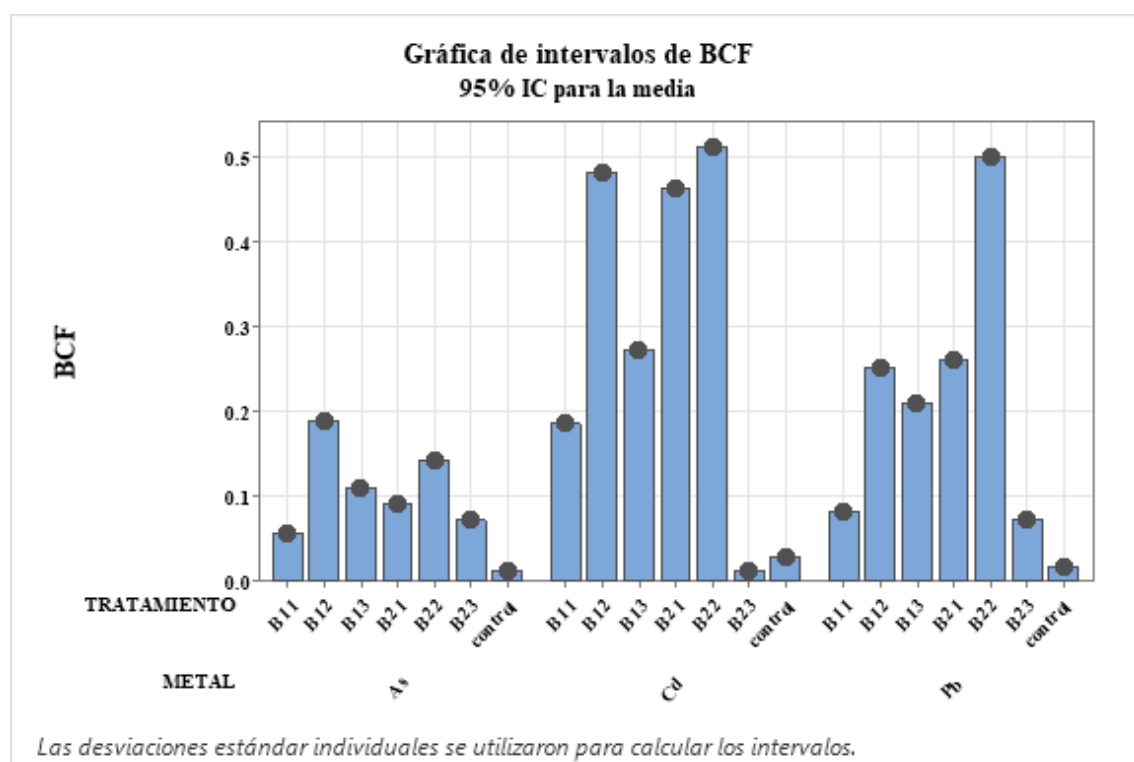


Figura 37. Intervalos de bioacumulación en la parte aérea de *Festuca dolichophylla*.

En la figura 37, se observa que los factores de bioacumulación (BAF) en la parte aérea de *Festuca dolichophylla* fueron menores a 1 para los tres metales evaluados (Pb, Cd y As), en todos los tratamientos. Esto indica que la planta no presenta una alta capacidad de translocar estos metales desde las raíces hacia los órganos superiores como tallos y hojas. Este patrón sugiere una acumulación preferencial en la zona radical, lo cual es característico de especies que actúan principalmente como fitoestabilizadoras.

Estos resultados son coherentes con lo reportado por Rahman et al. (2024) quienes observaron que en *Pennisetum purpureum* los niveles de As(V) bioacumulados siguieron el orden: raíces > tallo > hojas, lo que refleja una distribución limitada del metal hacia la parte aérea. Asimismo, Wang et al. (2017) encontró un comportamiento similar en *Festuca*

*arundinacea*, donde el cadmio presentó una baja movilidad hacia los tejidos vasculares aéreos, con una marcada retención en raíces y posible excreción por mecanismos cuticulares.

En conjunto, estos resultados respaldan que *Festuca dolichophylla* tiene un potencial más enfocado hacia la fitostabilización que hacia la fitotranslocación o fitoextracción, lo cual la convierte en una especie útil en estrategias de remediación para suelos contaminados, al limitar el transporte de metales hacia partes accesibles de la planta y reducir así los riesgos ecológicos.

En la figura 38, se muestra el gráfico de probabilidad normal, donde podemos verificar que los datos se alinean o se sitúan próximos a la línea de normalidad. De esta manera, podemos concluir que el tratamiento parece tener una distribución normal. En el gráfico de residuos frente al orden de las observaciones, se observa que los errores no siguen un patrón específico, sino que están distribuidos aleatoriamente. Se aprecia que los errores no presentan un patrón, están distribuidos de manera aleatoria.

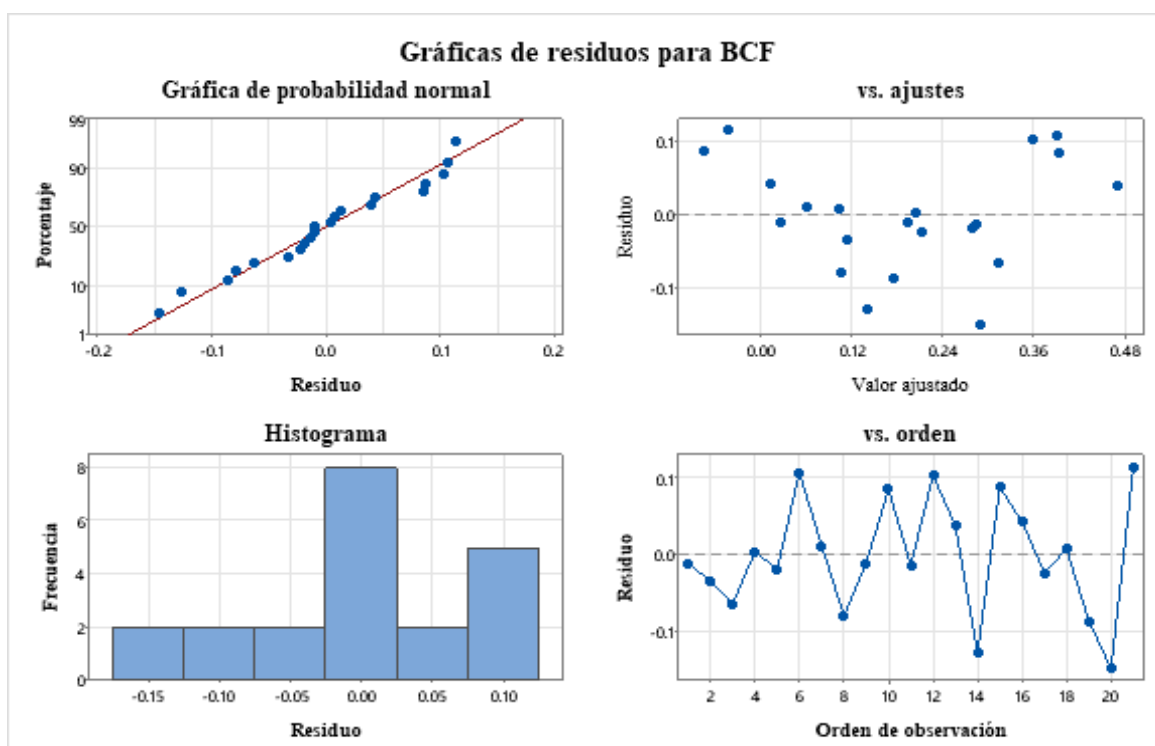


Figura 38. Gráfica de residuos de bioacumulación en la parte aérea de *Festuca dolichophylla*.

**Tabla 44**Resultados de factor de bioacumulación en la raíz de *Festuca dolichophylla*.

R.C.	TRA.	Pb			Cd			As		
		Craiz	Csuelo	BCFR	Craiz	Csuelo	BCFR	Craiz	Csuelo	BCFR
	control	109.63	851.71	0.13	39.56	98.57	0.40	0.79	29.89	0.03
	B11	94.86	571.33	0.17	14.78	45.28	0.33	1.20	21.36	0.06
IBA	B12	105.87	336.91	0.31	22.56	35.59	0.63	4.19	17.15	0.24
	B13	126.39	276.53	0.46	28.83	23.44	1.23	7.41	13.32	0.56
	B21	136.22	253.84	0.54	28.61	21.32	1.34	0.86	10.78	0.08
KINETINA	B22	146.54	233.62	0.63	34.81	19.74	1.76	2.57	12.54	0.20
	B23	117.47	265.16	0.44	32.87	37.83	0.87	3.57	11.33	0.32

En la Tabla 44, se muestra los resultados del Factor de Bioacumulación (BCF) en la parte de raíz de *Festuca dolichophylla*. Los resultados indican que los tratamientos B13 (10mg/L de IBA), B21 (1mg/L de kinetina) y B22 (5mg/L de kinetina) tienen un BCF > 1, lo que los clasifica como estabilizadores. En cambio, los tratamientos con un BCF < 1 son considerados indicadores.

Es importante destacar que los resultados muestran que *Festuca dolichophylla* es acumuladora de cadmio, ya que los valores de BCF para este metal son superiores a 1. En cambio, los tratamientos con arsénico y plomo no alcanzan un BCF > 1, lo que los clasifica como indicadores para estos metales. Esta variación se puede explicar por el impacto de los reguladores de crecimiento, en particular las concentraciones de 5 mg/L y 10 mg/L de IBA, que parecen generar un efecto más significativo que las dosis restantes. Asimismo, el uso de kinetina a 5 mg/L destaca en la concentración de cadmio, sugiriendo un posible potencial de bioacumulación de este metal específico.

**Tabla 45**

Tabla de ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz de *Festuca dolichophylla*.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
METAL	2	2.0193	1.00965	14.83	0.001
TRATAMIENTO	6	1.2873	0.21455	3.15	0.043
Error	12	0.8170	0.06808		
Total	20	4.1236			

Fuente: Datos analizados en el software Minitab V.22.

En la tabla 45, se muestra el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la parte raíz de *Festuca dolichophylla* bajo distintos tratamientos. Al llevar a cabo la hipótesis se determina que el valor de  $F > P$ , lo que sugiere que existen diferencias en la acumulación de los metales en los tratamientos de la especie.

**Tabla 46**

Tabla de media ajustada, tratamiento y metal de factor de bioacumulación en la raíz de *Festuca dolichophylla*.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
1 METAL		
As	0.2119	0.0986
Cd	0.9380	0.0986
Pb	0.3818	0.0986
1 TRATAMIENTO		
B11	0.183	0.151
B12	0.397	0.151
B13	0.748	0.151
B21	0.653	0.151
B22	0.865	0.151
B23	0.542	0.151
Control	0.185	0.151

Fuente: Datos analizados en el software Minitab V.22.

En la tabla 46, se puede ver la media ajustada de los metales y tratamientos, además del error estándar de la media. Esto nos señala que las medias de los tratamientos son diferentes.

En la figura 39 se observa el tratamiento con mayor acumulación de cadmio en la raíz es la B13, B21 y B22, en la acumulación de plomo esta la B21 y B22 que se determina bioacumuladora.

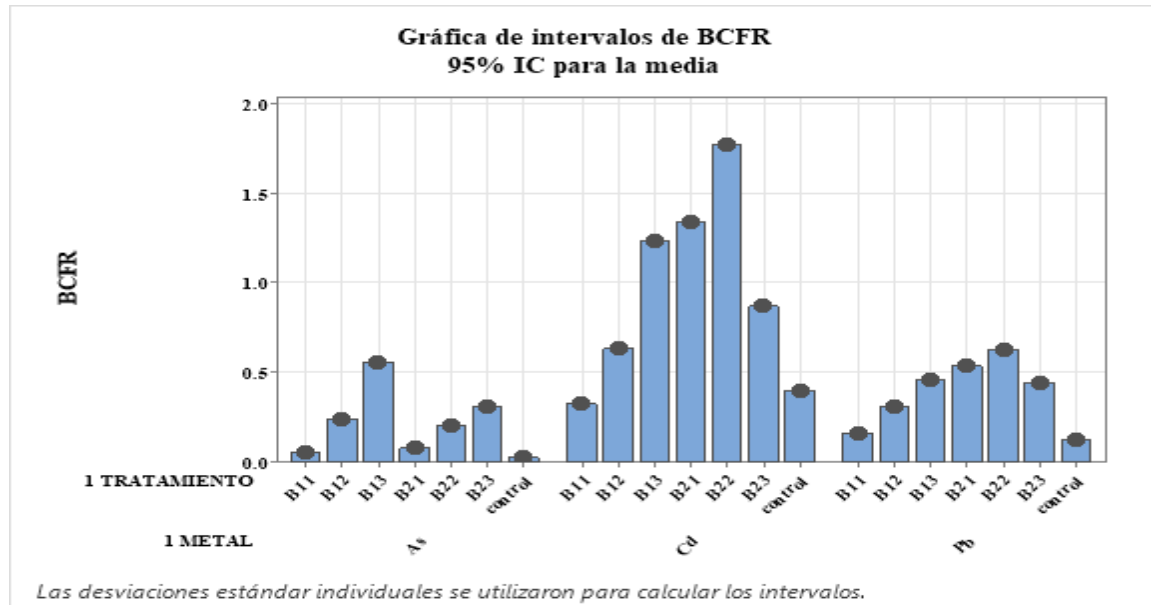


Figura 39. Intervalos de bioacumulación en la raíz de *Festuca dolichophylla*.

En la Figura 39, se observa que los tratamientos B13 (10 mg/L de IBA), B21 (1 mg/L de kinetina) y B22 (5 mg/L de kinetina) presentaron un Factor de Bioacumulación (BCF) mayor a 1 en la raíz de *Festuca dolichophylla*, lo que los clasifica como potenciales estabilizadores de metales pesados como cadmio (Cd) y plomo (Pb). Estos valores indican una capacidad significativa de absorción y retención de metales en la raíz, sin que se transloquen en exceso hacia la parte aérea, característica ideal para estrategias de fitorremediación por fitoestabilización. Resultados similares fueron reportados por Lu et al. (2014), quienes demostraron que *Festuca arundinacea* cultivada en suelos contaminados con Cd y Pb presentó acumulación preferente en raíces, atribuyéndose esta capacidad al sistema radicular denso y a la baja translocación hacia tallos y hojas. Asimismo, Li et al. (2024) encontraron que *F. arundinacea* retuvo cerca del 85 % del Cd total en las raíces, incluso cuando se estimuló la rizosfera mediante actividades de lombrices de tierra, lo que refuerza el potencial de especies del género *Festuca* para actuar como fitoestabilizadores naturales. En este

contexto, los tratamientos hormonales aplicados (IBA y kinetina) podrían haber potenciado mecanismos de absorción y tolerancia al estrés, promoviendo una mayor acumulación radicular y respaldando así la utilidad de estos tratamientos en el diseño de sistemas de fitorremediación con *Festuca dolichophylla* en suelos afectados por metales pesados.

En la figura 40, se muestra la gráfica de la probabilidad normal, donde podemos verificar que los datos se alinean o están próximos a la línea de normalidad, lo que nos permite concluir que el tratamiento exhibe una distribución que parece ser normal. En la gráfica de residuos en función del orden de observaciones, se observa que los errores no siguen ningún patrón, están dispersos de forma aleatoria.

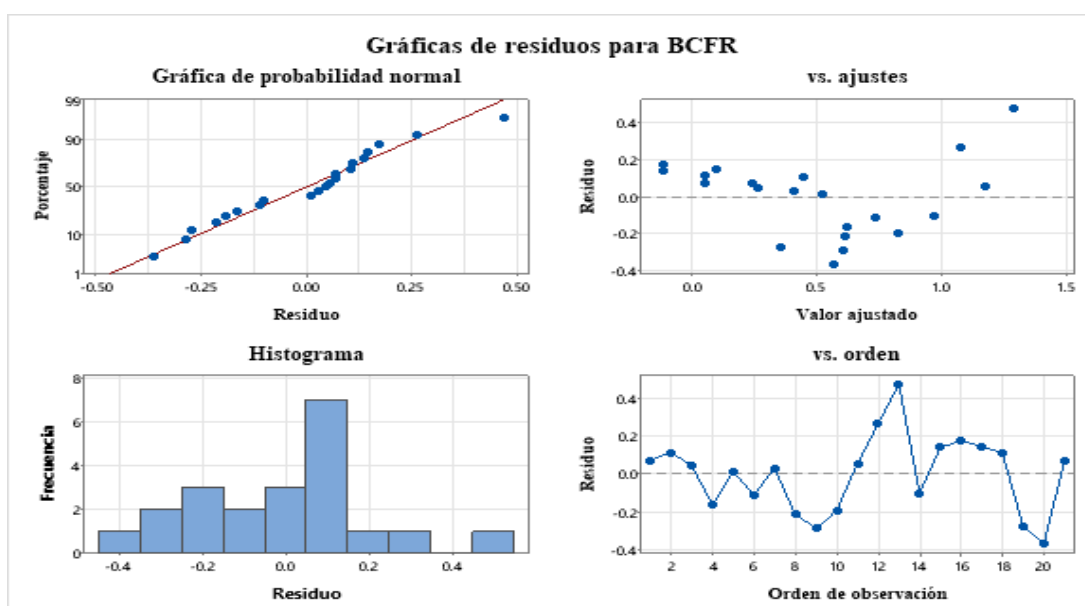


Figura 40. Gráfica de residuos de bioacumulación en la raíz de *Festuca dolichophylla*.

La fitoextracción se presenta como una estrategia efectiva para eliminar contaminantes que son imposibles de degradar. Para que una especie vegetal funcione bien como fitoextractor, hay que tener en cuenta dos factores fundamentales: la cantidad de biomasa y su capacidad para bioconcentrar. Aunque hay plantas hiperacumuladoras que son opciones interesantes para la fitorremediación, muchas de ellas tienen una biomasa restringida. En este escenario, la ingeniería genética brinda una alternativa al permitir la transferencia y la sobreexpresión de genes de bacterias, levaduras o animales que facilitan la hiperacumulación en plantas que poseen una biomasa elevada (López et al., 2011).

En la Figura 40, se muestra un gráfico que contrasta el Factor de Bioacumulación en la parte aérea y en las raíces de *Pennisetum clandestinum* para cada tipo de tratamiento. Los resultados indican que los tratamientos B13 presentan la mayor concentración de cadmio

tanto en la raíz como en la parte aérea, mientras que los tratamientos B12 se destacan por la mayor acumulación de plomo y arsénico en la raíz.

Los hallazgos de Wang et al. (2017) se alinean con el porcentaje de eficiencia observado en este estudio. En su investigación, se trabajó con diferentes reguladores de crecimiento vegetal, y los resultados mostraron que tanto el ácido salicílico como el etileno mejoraron el proceso de absorción de cadmio (Cd) por la raíz, su translocación a la hoja y su excreción foliar. Esto promovió la eficiencia de fitoextracción con biobomba en un 63.6% y un 73.8%, respectivamente. Además, la giberelina también favoreció en gran medida la translocación de Cd, su excreción foliar y la fitoextracción, aunque no tuvo un impacto significativo en la absorción del Cd por las raíces.

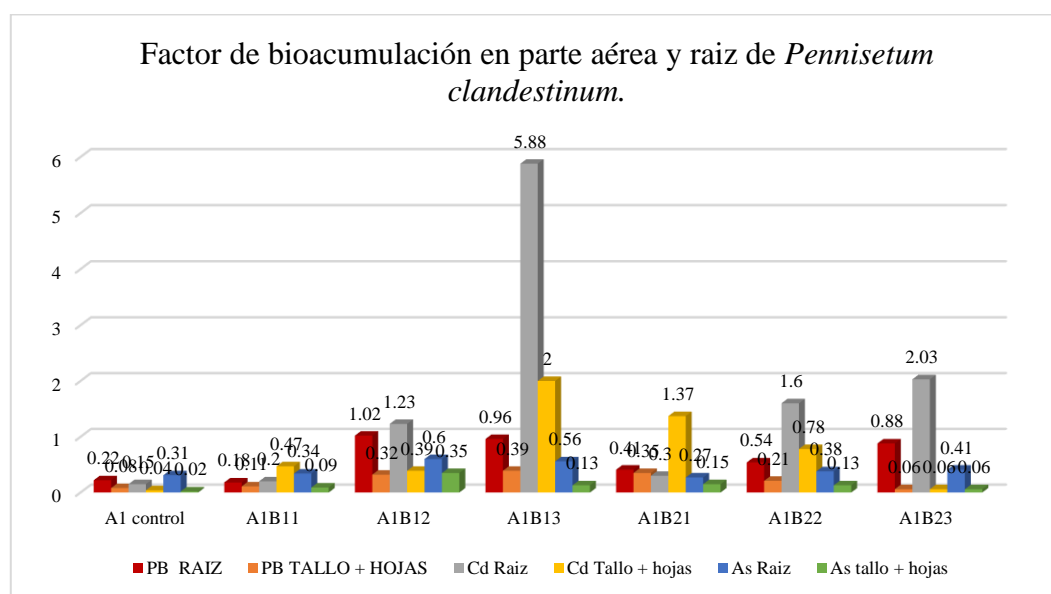


Figura 41. Factor de bioacumulación en la parte aérea y raíz de *Pennisetum clandestinum*.

Los hallazgos coinciden con los reportados por Sofo et al. (2022), quienes encontraron que los metales acumulan más en las raíces que en los brotes, con concentraciones que varían considerablemente según el tipo de metal. En este sentido, se observa en la Figura 40, destaca una mayor acumulación de cadmio en la raíz.

La Figura 42, muestra una gráfica comparativa del Factor de Bioacumulación en la parte aérea y en las raíces de *Festuca dolichophylla* para cada tratamiento. Se observa que la mayor acumulación de cadmio en la raíz y en la parte aérea corresponde al tratamiento B22. Asimismo, el tratamiento B22 muestra la mayor acumulación de plomo en las raíces, mientras que el tratamiento B13 destaca una mayor acumulación de arsénico en la raíz.

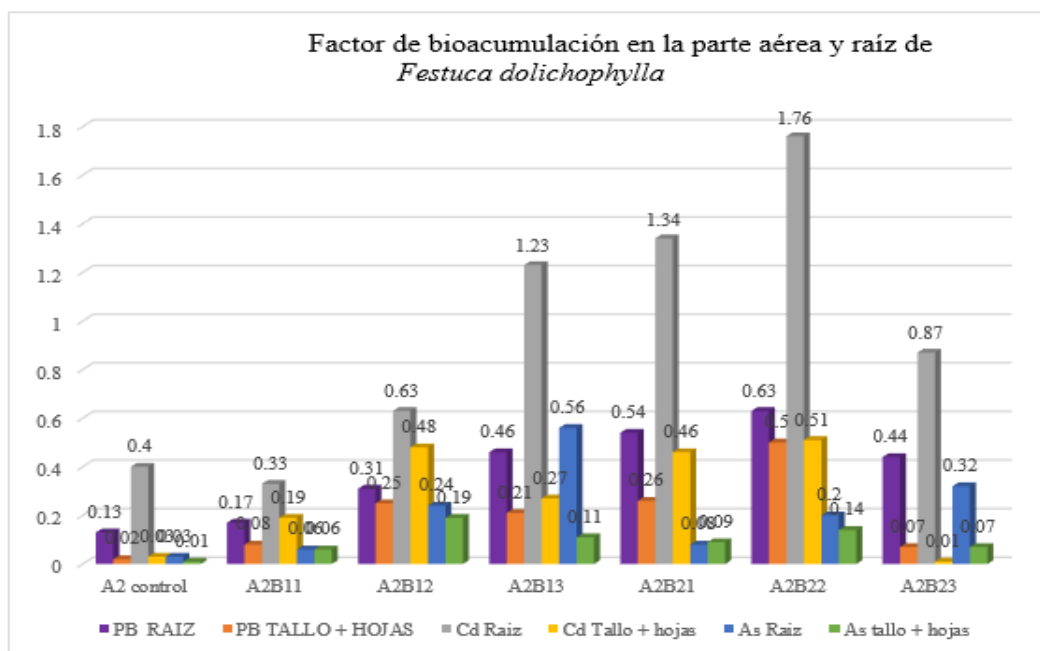


Figura 42. Factor de bioacumulación en la parte aérea y raíz de *Festuca dolichophylla*.

#### A. Resumen de los resultados de traslocación

Según los resultados de traslocación en *Pennisetum clandestinum*, los tratamientos con mayor acumulación de cadmio, arsénico y plomo corresponden a B21. Por otro lado, en *Festuca dolichophylla*, los tratamientos que mostraron la mayor acumulación de plomo y cadmio fue B12, mientras que para arsénico (As), el tratamiento B21 resultó ser el más destacado.

Al comparar ambas especies, *Pennisetum clandestinum* mostró la mayor acumulación de cadmio (4.628 mg/kg) y plomo (0.873 mg/kg), señalando que esta especie actúa como traslocadora para estos metales. En cuanto a arsénico, la especie *Festuca dolichophylla* presentó la mayor acumulación con 1.14 mg/kg.

#### B. Resumen de los resultados de bioacumulación.

Los hallazgos sobre la bioacumulación en la parte aérea de *Festuca dolichophylla* indican que el tratamiento B22 mostró la más alta concentración de plomo (Pb) (0.50 mg/kg) y cadmio (Cd) (0.51 mg/kg). Igualmente, el tratamiento B12 se destacó como el que más arsénico (As) acumuló, alcanzando 0.19 mg/kg. En lo que respecta a la parte radicular, el tratamiento B22 retuvo la mayor cantidad de cadmio (1.76 mg/kg) y plomo (0.63 mg/kg), mientras que el tratamiento B13 fue el que más arsénico acumuló, llegando a 0.56 mg/kg.

La especie vegetal *Pennisetum clandestinum*, el tratamiento B13 presentó la mayor acumulación de cadmio (Cd) (0.56 mg/kg) y plomo (Pb) (0.39 mg/kg) en la parte aérea, mientras que el B12 logro acumular (0.35 mg/kg) de arsénico. En la zona de raíz, el tratamiento B12 acumuló la mayor cantidad de plomo (Pb) (1.02 mg/kg) y arsénico (As) (0.60 mg/kg) y el B13 fue el mayor acumulador de cadmio (Cd) (5.88 mg/kg). Al comparar ambas especies, *Pennisetum clandestinum* se destacó como acumuladora de cadmio, arsénico y plomo tanto en la parte aérea como en la raíz, mientras que *Festuca dolichophylla* fue acumuladora de plomo principalmente en la parte aérea.

Según Arce et al. (2021), mencionan que *Festuca Dolichophylla* puede absorber hasta 16.87 mg/kg de mercurio en sus hojas utilizando tiosulfato. Asimismo, especies de mayor porte como *Festuca dolichophylla* muestran una respuesta notoria al ser fertilizadas con nitrógeno, fósforo y potasio, lo que mejora la producción de biomasa ante la disponibilidad inmediata de estos nutrientes (Zárate et al., 2020). No obstante, en el estudio realizado por Cahuana y Aduvire (2019), se reporta una concentración de plomo (27 mg/kg), cadmio (0.1 mg/kg) y arsénico (6.5 mg/kg) en *Festuca dolichophylla*, siendo estos valores que son más altos que los obtenidos en la presente investigación para plomo y arsénico.

Los hallazgos de este estudio son consistentes con los que presentan Steliga y Kluk (2020), quienes mencionan que los metales pesados en *Festuca arundinacea* se acumulan principalmente en los tejidos radiculares en el siguiente orden descendente: Cd < Ni < Pb, evidenciando una débil translocación de metales desde las raíces hacia los brotes, lo que sugiere que *Festuca arundinacea* actúa como fitoestabilizador.

#### 4.4. Determinación la concentración de pb, cd y As en *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*

##### 4.4.1. Parámetros físicos de suelo

**Tabla 47**

Resultados de las características físicas del suelo.

MUESTRA	PH	CE (mS/cm)	T (°C)
Scontrol	6.71	1.3	20.5
SA1	7.17	0.91	20.3
SA2	7.19	0.93	20.3
SA1B13	7.2	0.87	20.3
SA2B23	7.19	0.84	20.3

En la tabla 47, se muestran los resultados de los indicadores físicos del análisis del suelo, incluyendo Ph, conductividad eléctrica y temperatura. La muestra de control o blanco pertenece al pasivo ambiental minero del Distrito de Mañazo, con un pH de 6.71, lo cual es cercano al valor neutro. Después del tratamiento, se notaron variaciones en los parámetros analizados, destacándose un incremento en el Ph que supera 7 y una reducción de la conductividad eléctrica, que resultó ser inferior a 0.

Los suelos libres de contaminación presentaron un Ph casi neutral ( $6.8 \pm 0.1$ ), un alto nivel de carbono orgánico ( $42 \pm 4.0$  g/kg) y una textura de franco-limo. Para la presente investigación, se recolectaron muestras de suelo y vegetación en cuatro sitios (CA1, CA2, CA3, CA4), así como en la capa superior del suelo de referencia local (CA0) (Bech et al., 2016).

En la figura 43, se muestra los resultados de los parámetros físicos del suelo, mostrando una comparación entre las muestras después del tratamiento y el suelo blanco o control.

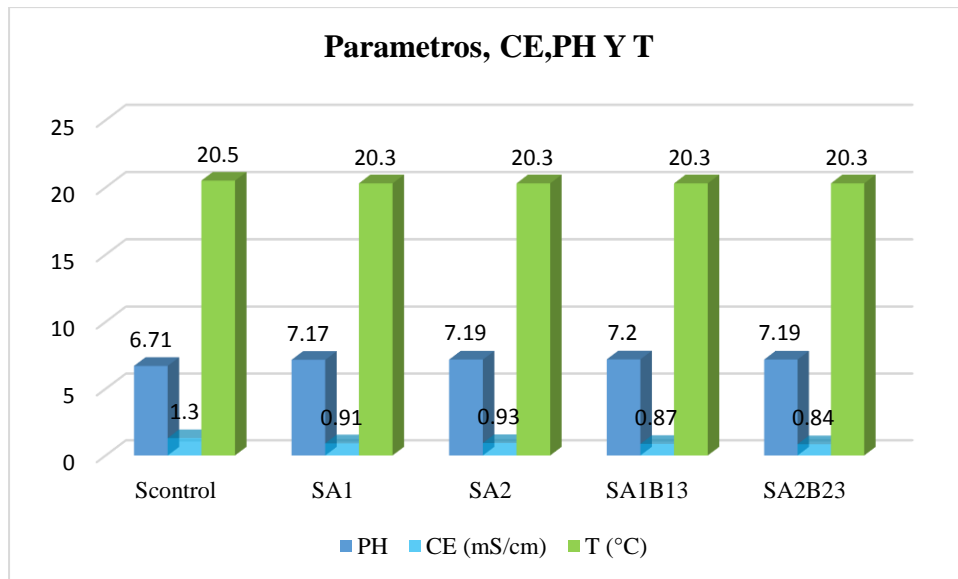


Figura 43 Parámetros físicos del suelo.

#### 4.4.2. Textura del suelo

**Tabla 48**

Densidad hidrométrica corregida del suelo de control

Lectura	Densidad g/lt	Temperatura	Valor de corrección	Densidad corregida(g/l)
1era. lectura (40s)	30	21	0.4	30.4
2da. lectura (2h)	40	22	0.8	40.8

La composición del suelo se analizó con el método de Bouyoucos, empleando un hidrómetro. Se realizaron dos lecturas: la primera, a los 40 segundos de decantación, y la segunda, a las dos horas. La medición se llevó a cabo cuando la suspensión se encontraba entre 20 y 22 °C, y luego se corrigió según la temperatura.

La primera lectura se utilizó para estimar el contenido de arena, mientras que la segunda, a las dos horas, permitió estimar el contenido de arcilla. La porción de limo se obtuvo restando e los dos valores obtenidos (Beretta et al., 2014).

**Tabla 49**

Cálculo de textura de suelo de control.

Primera lectura corregida a loa 40s x2	Segunda lectura corregida a las 2 horas x2	% de limo = 100-(arena+arcilla)
% de arena	% de arcilla	% de limo
39.2	18.4	20

En la tabla 49, se puede ver la textura del suelo, siendo uno de las propiedades físicas más estables. En el presente estudio, la textura se clasificó como franco arcilloso arenoso para todos los usos de suelo, con valores medios de 39.2 % de arena, 20 % de limo y 18.4 % de arcilla.

Las investigaciones de Beretta et al. (2014), al analizar diversos protocolos, indican que el método Bouyoucos-Day (que mide las fracciones de arena a través de tamizados) es útil para identificar la textura del suelo y deducir sus características. Sin embargo, este método no es adecuado para determinar la categoría de textura que se necesita para la clasificación taxonómica del suelo (Gabriels & Lobo, 2006).

**Tabla 50**

Densidad hidrométrica corregida de suelo tratado.

Lectura	Densidad g/lt	Temperatura	Valor de corrección	Densidad corregida(g/l)
1era. lectura (40s)	15	23	0.4	15.4
2da. lectura (2h)	30	23	0.8	30.8

**Tabla 51**

Cálculo de textura de suelo tratado.

Primera lectura corregida a loa 40s x2	Segunda lectura corregida a las 2 horas x2	% de limo = 100-(arena+arcilla)
% de arena	% de arcilla	% de limo
69.2	38.4	0

En la tabla 51, se observa la textura del suelo, siendo una de las características físicas más estables. En el presente estudio, la textura se clasificó como franco arcilloso arenoso para todos los usos de suelo que se determinó con el triángulo textural de USDA, con valores medios de 69.2 % de arena, 0 % de limo y 38.4% de arcilla, (Guerrero, 1998), menciona que el suelo franco arcilloso arenoso, es fina el cual indica que son suelos pesados difíciles de trabajar, con respecto a la capacidad de infiltración son lentas.

En la figura 44, se muestra un gráfico de la textura de suelo, donde el suelo que ha sido tratado contiene un 69.2 % de arena, 38.4 % de arcilla y un 0 % de limo.

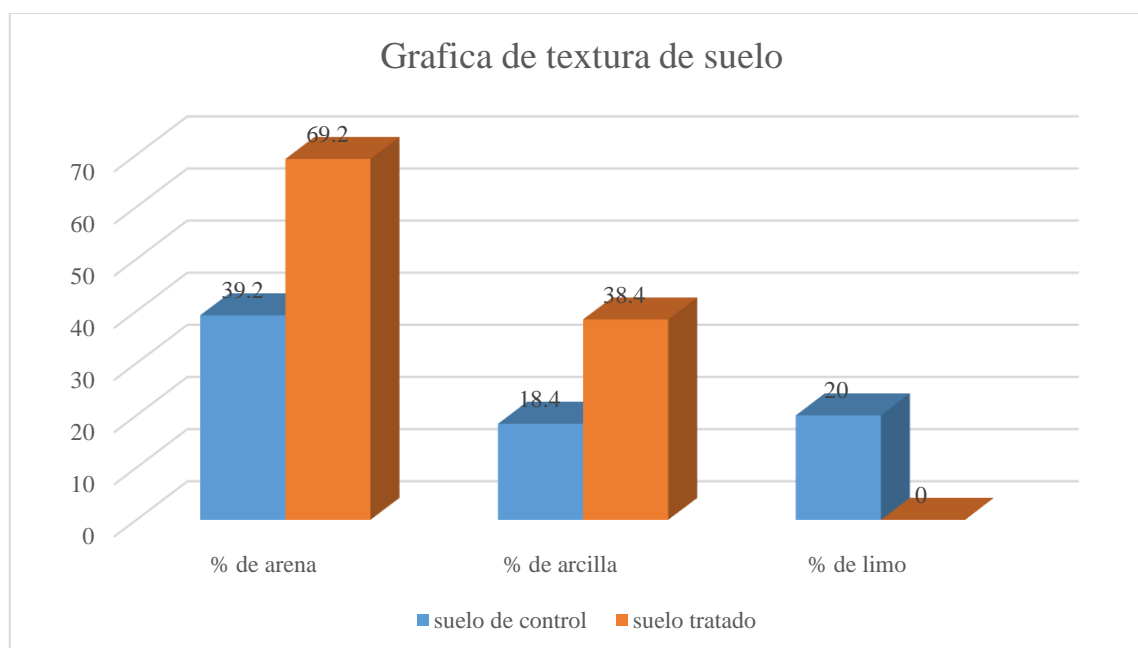


Figura 44. Textura del suelo.

#### 4.4.3. Granulometría del suelo

**Tabla 52**

Análisis granulométrico de suelo por tamizado.

Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida en cada tamiz (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
N°10	2.000	50.23	5.03%	5.03%	94.97%
N°16	1.180	60.6	6.07%	11.11%	88.89%
N°20	0.850	80.5	8.07%	19.18%	80.82%
N°30	0.600	78.9	7.91%	27.09%	72.91%
N°40	0.425	79.5	7.97%	35.05%	64.95%
N°50	0.300	89.3	8.95%	44.00%	56.00%
N°60	0.250	89.24	8.94%	52.95%	47.05%
N°80	0.180	90.36	9.06%	62.01%	37.99%
N°100	0.150	90.45	9.07%	71.07%	28.93%
N°140	0.106	91.36	9.16%	80.23%	19.77%
N°200	0.075	92.95	9.32%	89.55%	10.45%
N°400	0.038	92.65	9.29%	98.83%	1.17%
Fondo		11.65	1.17%	100.00%	0.00%
Total		997.69			

En la tabla 52, se presenta el Análisis Granulométrico del suelo mediante el método de tamizado, los resultados de cada tamiz tienen un porcentaje que pasa, Con base en el esquema de clasificación de tamaños de partícula para el USDA, las partículas del suelo podrían considerarse de acuerdo con su diámetro esférico euhédrico (esd) como arcilla, limo o arena. Partículas del suelo que están  $< 4 \mu\text{m}$  los esd se clasifican como arcilla, partículas de suelo que son  $> 4 \mu\text{m}$  esd  $\leq 53 \mu\text{m}$  se considera que las partículas de la esd son limo, y las partículas

del suelo que tienen una  $>$  de la esd  $53 \mu\text{m}$  esd  $\leq 500 \mu\text{m}$  se consideran arena (Ekosse et al., 2006).

En la gráfica 45, se observa la curva granulométrica, que tienen un porcentaje que pasa de acuerdo a la abertura del tamiz, del N°10 es 94.97%, que es el mayor porcentaje y N°400 es 1.17% que es el menor porcentaje.

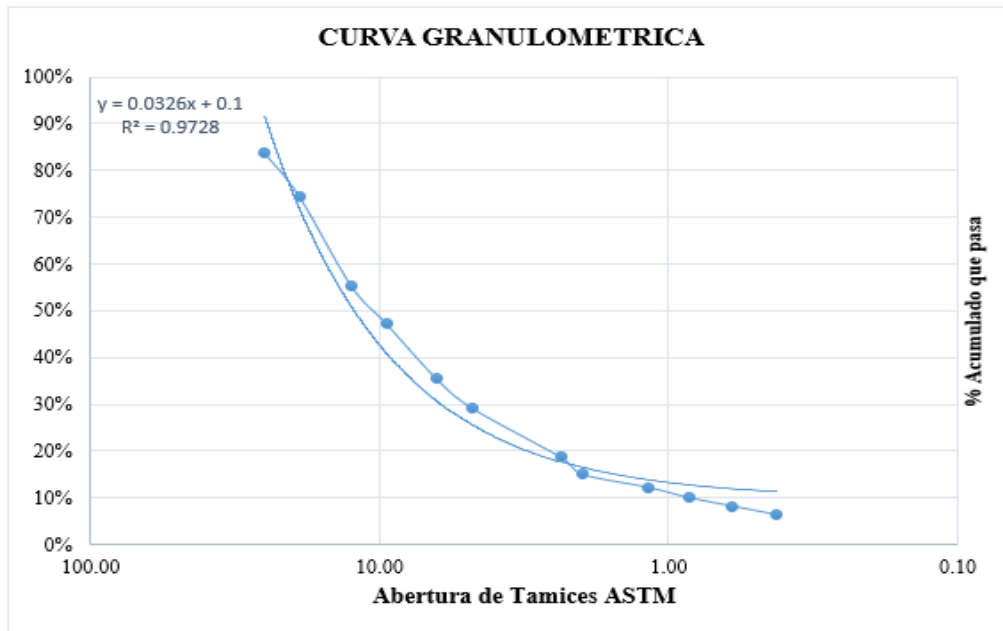


Figura 45. Curva granulométrica.

#### 4.4.4. Parámetros químicos del suelo

**Tabla 53**

Resultado de los parámetros químicos del suelo.

	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PB</b>	<b>CD</b>	<b>AS</b>
	CONTROL	851.71	98.57	29.89
A1	B11	620.84	64.6	15.83
	B12	196.69	21.98	11.03
	B13	220.35	6.95	17.58
	B21	268.56	44.7	12.89
	B22	215.06	32.79	10.65
	B23	196.74	21.61	11.36
	A2	B11	571.33	45.28
B12		336.91	35.59	17.15
B13		276.533	23.44	13.32
B21		253.84	21.32	10.78
B22		233.62	19.74	12.54
B23		265.16	37.83	11.33

En la tabla 53, se muestra los resultados de absorción de metales de cada tratamiento, de las dos especies vegetales.

**Tabla 54**

Información del factor.

<b>Factor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Bloque	Fijo	2	1; 2
Metal	Fijo	3	As; Cd; Pb
tratamiento	Fijo	7	B11; B12; B13; B21; B22; B23; control

Fuente: Datos analizados con el software Minitab V.22.

Tabla 55

Tabla ANOVA de los parámetros químicos de suelo de cada tratamiento.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Sec.</b>	<b>Contribución</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Bloque	1	1120	0.06%	1120	1120	0.08	0.776
Metal	2	1175705	61.18%	1175705	587852	43.28	0.000
Tratamiento	6	310108	16.14%	310108	51685	3.81	0.006
Error	32	434628	22.62%	434628	13582		
Total	41	1921560	100.00%				

Fuente: Datos analizados con el software Minitab V.22.

Tabla 56

Tabla de media ajustada de los parámetros químicos del suelo y tratamientos.

<b>Término</b>	<b>Media ajustada</b>	<b>Error estándar de la media</b>
Bloque		
1	141.4	25.4
2	151.8	25.4
Metal		
As	16.1	31.1
Cd	40.9	31.1
Pb	382.8	31.1
Tratamiento		
B11	223.2	47.6
B12	103.2	47.6
B13	93.0	47.6
B21	102.0	47.6
B22	87.4	47.6
B23	90.7	47.6
Control	326.7	47.6

Fuente: Datos analizados con el software Minitab V.22.

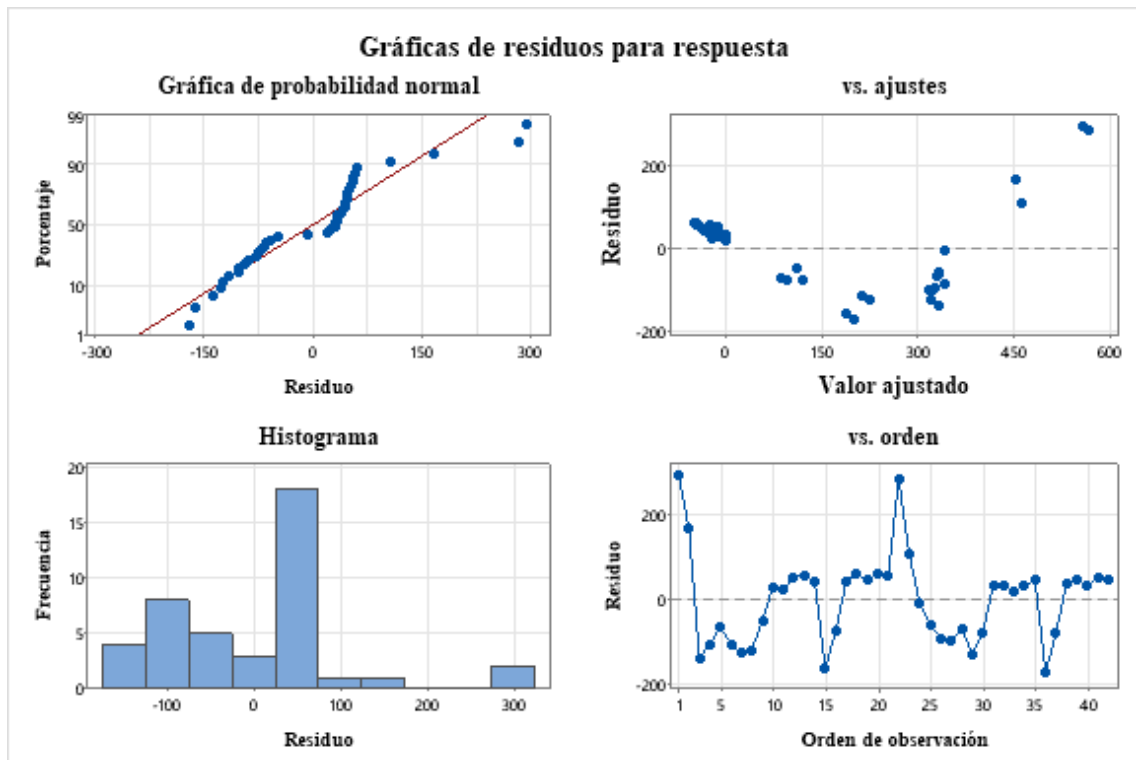


Figura 46. Gráfica de residuos para los parámetros químicos.

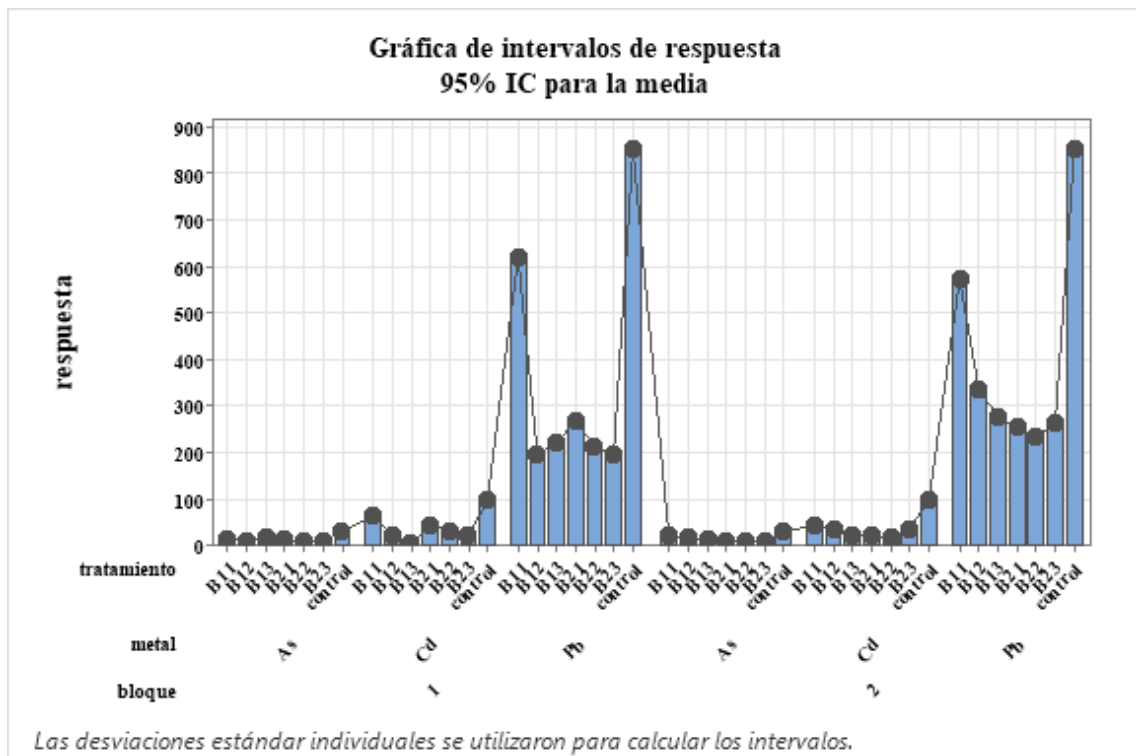


Figura 47. Intervalos de parámetros químicos.

Tabla 57

Resultados de extracción de los metales del suelo con las especies de *Festuca dolichophylla* y *Pennisetum clandestinum*.

	TRATAMIENTO	PB	CD	AS	Extracción		
	CONTROL	851.71	98.57	29.89	PB	Cd	As
A1	B11	620.84	64.6	15.83	230.87	33.97	14.06
	B12	196.69	21.98	11.03	655.02	76.59	18.86
	B13	220.35	6.95	17.58	631.36	91.62	12.31
	B21	268.56	44.7	12.89	583.15	53.87	17
	B22	215.06	32.79	10.65	636.65	65.78	19.24
	B23	196.74	21.61	11.36	654.97	76.96	18.53
A2	B11	571.33	45.28	21.36	280.38	53.29	8.53
	B12	336.91	35.59	17.15	514.8	62.98	12.74
	B13	276.53	23.44	13.32	575.177	75.13	16.57
	B21	253.84	21.32	10.78	597.87	77.25	19.11
	B22	233.62	19.74	12.54	618.09	78.83	17.35
	B23	265.16	37.83	11.33	586.55	60.74	18.56

En la tabla 57, se muestran los resultados de la extracción de metales de las especies *Festuca dolichophylla* y *Pennisetum clandestinum*. Los tratamientos que lograron la mayor extracción de plomo, cadmio y arsénico son A1B12, A1B13 y A1B22, en ese orden.

El nivel de plomo en los tratamientos B12 y B23 utilizando *Pennisetum clandestinum* disminuyó en el suelo al final del experimento, en comparación con el suelo inicial, en 655.02 mg/kg, obteniendo una eficacia de hasta 77%. En lo que respecta al cadmio, los tratamientos B13 (con 91.62 mg/kg) con *Pennisetum clandestinum* y B22 (con 78.83 mg/kg) con *Festuca dolichophylla* demostraron una efectividad del 93% y del 80%, respectivamente. Para el arsénico, los tratamientos con mayor eficacia fueron B22 (con 19.24 mg/kg) con *Pennisetum clandestinum* (64%) y B21 (con 19.11 mg/kg) con *Festuca dolichophylla* (64%).

Para Huamani (2017), se demostró que la fitorremediación utilizando la planta nativa *Pennisetum clandestinum* tiene un impacto notable en la reducción de la contaminación del suelo causada por los relaves mineros de la población de Saramarca en Palpa en el año 2017. Los niveles de extracción fueron 2.40 mg/kg de plomo, 0.15 mg/kg cadmio y 2.50 mg/kg arsénico. No obstante Cahuana y Aduvire (2020), reportan que el estudio de metales pesados llevado a cabo en la biomasa de plantas terrestres como *Festuca dolichophylla*, *Stipa mucronata* y *Cortaderia sp.* en las zonas de monitoreo dentro del área afectada por los pasivos ambientales mineros, muestra una acumulación de metales pesados (arsénico y plomo), rebasando en algunas localidades los límites máximos establecidos por la Unión Europea (Real Decreto 747/2001).

Además Vizconde (2023), señala que tanto *Dactylis glomerata* como *Pennisetum clandestinum* actúan como plantas que evitan la absorción de Ag, As y Ni, mientras que son eficaces en acumular Cd, Cu, Pb y Zn. Los índices de BCF en las raíces indican que para As y Ni las plantas se comportan como excluyentes y en cambio, Ag, Cd, Cu, Pb y Zn funcionan como acumuladoras. Por otro lado, Rosario et al. (2009) mencionan que *Pennisetum clandestinum* tiene la capacidad natural de acumular Pb, con un CT de 1.88. Las mayores concentraciones de Pb, Zn, Cu y Fe se encontraron en hojas de *P. clandestinum*, con los mayores valores de los factores de bioconcentración para Pb, Zn y Cu. Por otro lado Lezama y Saldaña, (2017) señalan que las concentraciones de Pb en las raíces de *Pennisetum clandestinum* fueron más elevadas (260 mg/kg) que las concentraciones de Pb en la parte aérea, lo que sugiere una limitada movilidad del Pb desde las raíces hacia la parte aérea.

De acuerdo con Venegas (2016), se indica que *Stipa ichu* mostró una mejor capacidad para absorber plomo (241.805 mg/kg) en la zona de estudio, lo que la establece como una planta eficaz para la limpieza de suelos contaminados. Las plantas no siempre tienen una reacción negativa ante altos niveles de metales. En este estudio, los géneros y la familia Poaceae (incluyendo *Festuca* y *Pennisetum*) se comportan como tolerantes y acumuladores gracias a mecanismos particulares que les permiten fijar, absorber y almacenar metaloides y metales que no son esenciales (Zhuang et al., 2009). Por otro lado Jia et al. (2022) reporta que especies como *Pennisetum*, *Setaria viridis*, *Amaranto*, *Festuca alta* y raigrás fueron preseleccionadas como plantas tolerantes a Cr en experimentos de germinación de semillas.

Para Wu et al. (2023), la cantidad de Cd en el suelo disminuyó un 60% después de sembrar *Pennisetum*, sugiriendo que esta especie es un fitoextractor potencial de Cd en suelos

ligeramente contaminados. Sin embargo Gajić et al. (2020) menciona que *Festuca rubra* es adecuada para la fitoestabilización de As ( $BCF < 1$ ,  $TF < 1$ ), actuando como excludora que retiene mayor cantidad de metales en las raíces que en las hojas.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La capacidad de propagación mediante cultivo in vitro con fines de fitorremediación fue eficiente en ambas especies evaluadas. Tanto *Pennisetum clandestinum* como *Festuca dolichophylla* presentaron un vigor de sobrevivencia del 90 %, mientras que el vigor de enraizamiento fue del 90 % en *Pennisetum* y 80 % en *Festuca*. En esta etapa, la mayor longitud de tallo se observó en *Festuca dolichophylla* (2.2 cm) con una dosis de 10 mg/L de kinetina, y la mayor longitud de raíz fue de 2.4 cm, alcanzada por *Festuca dolichophylla* con 5 mg/L de ácido indolbutírico (IBA).

En cuanto al factor de traslocación ( $FT > 1$ ), los tratamientos con 1 mg/L de IBA en *Pennisetum* y 1 mg/L de kinetina evidenciaron que *Pennisetum clandestinum* es traslocadora de cadmio (Cd) y *Festuca dolichophylla* es traslocadora de arsénico (As). Respecto a la bioacumulación en parte aérea, *Festuca dolichophylla* mostró los valores más altos con 0.50 mg/kg de plomo (Pb) y 0.51 mg/kg de cadmio (Cd) utilizando kinetina a 5 mg/L.

El uso de reguladores de crecimiento vegetal como kinetina e IBA, en diferentes dosis, tuvo efectos significativos en el desarrollo vegetal, favoreciendo la formación de raíces, el crecimiento de tallos y el número de hojas en ambas especies.

Finalmente, se evidenció una disminución significativa de plomo en el suelo al finalizar el experimento, particularmente en los tratamientos B12 y B23 con *Pennisetum clandestinum*, con reducciones de 655.02 mg/kg y 586.55 mg/kg, respectivamente, en comparación con el suelo original.

## **5.2. Recomendaciones**

Promover el cultivo in vitro de especies vegetales nativas como *Pennisetum clandestinum* (kikuyo), con el objetivo de utilizarlas en programas de reproducción masiva y tratamiento de suelos contaminados, aprovechando su adaptabilidad y capacidad fitorremediadora.

Fomentar investigaciones sobre el uso de reguladores de crecimiento vegetal, como auxinas, citoquininas, debido a su papel clave en la estimulación del enraizamiento, brotación y elongación, lo cual incrementa la eficiencia de las especies utilizadas en fitorremediación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (AAFCO) Association American feed Control Officials. (1996). Metales pesados en alimentación animal. *Official Publication*, 1–5.
- Adewumi, A. J., & Laniyan, T. A. (2020). Science of the Total Environment Contamination , sources and risk assessments of metals in media from Anka artisanal gold mining area , Northwest Nigeria. *Science of the Total Environment*, 718, 137235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137235>
- Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos/EPA. (2020). Lead in Soil. *Lead in Soil*, August, 3–4. <https://doi.org/10.1201/9780203711545>
- Ahanger, M. A., Aziz, U., Sahli, A. Al, Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Combined kinetin and spermidine treatments ameliorate growth and photosynthetic inhibition in vigna angularis by up-regulating antioxidant and nitrogen metabolism under cadmium stress. *Biomolecules*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/biom10010147>
- Alcantara Cortes, S. J., Alcantara, Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., & Sánchez Mora, R. M. (2019). *Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal Main hormonal regulators and their interactions in plant growth*.
- Alcántara, J., Godoy, A., & Sánchez, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 32, 109–129.
- Anza, M., Garbisu, C., Salazar, O., Epelde, L., Alkorta, I., & Martínez, M. (2021). Acidification alters the functionality of metal polluted soils. *Catena*, 163, 103920. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103920](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103920)
- Arce Sancho, S. N., Calderón Celis, J. M., & Jarecca Cusacani, Y. (2021). Optimización del proceso de Fito remediación con Festuca Dolichophylla y tiosulato de amonio para mejorar la eficacia de la absorción del mercurio de suelos contaminados con mercurio por la minería del distrito de Ananea Puno-Perú. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 69–76. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21765>
- Asgher, M., Khan, M. I. R., & Anjum, N. A. (2014). *Minimising toxicity of cadmium in plants — role of plant growth regulators*. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0710-4>

- Audet, P., & Charest, C. (2007). *Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective*. 147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.011>
- Bakhat, H. F., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H. M., Shah, G. M., Khalid, S., Shahid, N., Sajjad, M., & Fahad, S. (2019). Factors controlling arsenic contamination and potential remediation measures in soil-plant systems. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(April), 100263. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100263>
- Barros, M. J., De Ioro, A. R. F., García, A. N., & Rendina, A. E. (2005). Potencial de fitoextracción de plomo de especies formadoras de céspedes. *Revista de La Facultad de Agronomía UBA*, 25(1), 61–67. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/2005barrosmj.pdf>
- Barsova, N., Yakimenko, O., Tolpeshta, I., & Motuzova, G. (2019). Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation—A review. *Environmental Pollution*, 249, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020>
- Bashri, G., Singh, S., Prasad, S. M., Ansari, M. J., Usmani, S., Alfarraj, S., Alharbi, S. A., & Brestic, M. (2021). Kinetin mitigates Cd-induced damage to growth, photosynthesis and PS II photochemistry of *Trigonella* seedlings by up-regulating ascorbate-glutathione cycle. *PLoS ONE*, 16(6 June), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249230>
- Bech, J., Duran, P., Roca, N., Poma, W., Sánchez, I., Roca-Pérez, L., Boluda, R., Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2012). Accumulation of Pb and Zn in *Bidens triplinervia* and *Senecio* sp. spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.06.021>
- Bech, J., Roca, N., Tume, P., Ramos-Miras, J., Gil, C., & Boluda, R. (2016). Screening for new accumulator plants in potential hazardous elements polluted soil surrounding Peruvian mine tailings. *Catena*, 136, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.009>
- Bedriñana, J. C., Peinado, D. C., & Peñaloza, R. (2020). Lead bioaccumulation in root and aerial part of natural and cultivated pastures in highly contaminated soils in Central Andes of Peru. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(2), 126–132. <https://doi.org/10.25046/aj050216>

- Benavides, S. (1977). *Evaluacion in vivo del pasto Kikuyo*.
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: Modificaciones al método de Bouyoucus. *Ciencia e Investigacion Agraria*, *41*(2), 263–271. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202014000200013>
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, *303*(January). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- Bohórquez Quintero, M. D., Araque Barrera, E. J., & Pacheco Maldonado, J. C. (2016). Propagación in vitro de Espeletia paipana S. Díaz y Pedraza, frailejón endémico en peligro de extinción. *Actualidades Biológicas*, *38*(104), 23–36. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v38n104a03>
- Bonyanpour, A., & Khosh-Khui, M. (2013). Callus induction and plant regeneration in *Punica granatum* L. “Nana” from leaf explants. *Journal of Central European Agriculture*, *14*(3), 75–83. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.3.1285>
- Borjas Ventura, R., Julca Otiniano, A., & Alvarado Huamán, J. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura The plant hormones, an important component of the agriculture development Editado por: Selva Andina Research Society. *Journal of the Selva Andina Biosphere* ®. Bolivia. All Rights Reserved.
- Borjas ventura, R., Julca Otiniano, A., & Alvarado Huaman, L. (2020). *The plant hormones , an important component of the agriculture development Introducción Desarrollo*.
- Botero Giraldo, C., Urrea Trujillo, A. I., & Naranjo Gómez, E. J. (2015). Regeneration potential of *Psychotria ipecacuanha* (Rubiaceae) from thin cell layers. *Acta Biologica Colombiana*, *20*(3), 181–192. <https://doi.org/10.15446/abc.v20n3.47354>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, *6*(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Bulak, P., Walkiewicz, A., & Brzezinska, M. (2011). Plant growth regulators-assisted phytoextraction. *Plant Growth Regulators (PRG)-Assisted Phytoremediation Is a*

*Technique That Could Enhance the Yield of Heavy Metal Accumulation in Plant Tissues. So Far, a Small Number of Experiments Have Helped Identify Three Groups of Plant Hormones That May Be Useful* , X, 1–8.

- Cahuana, L., & Aduvire, O. (2018). *vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú*. 1–18.
- Cahuana, L., & 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*. 15–28.
- Cahuana, L., & Aduvire, O. (2020). *Bioaccumulation of heavy metals in aquatic and terrestrial vegetation tissues evaluated in areas where there are mining environmental liabilities in Peru*. January.
- Calderón Torres, D. P., & Zamudio Sánchez, A. M. (n.d.). *FITOESTABILIZACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE POR Acacia melanoxylon; UNA ESTRATEGIA PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS*. 25.
- Cantabella, D., Mendoza, C. R., Teixidó, N., Vilaró, F., Torres, R., & Dolcet-Sanjuan, R. (2022). GreenTray® TIS bioreactor as an effective in vitro culture system for the micropropagation of Prunus spp. rootstocks and analysis of the plant-PGPMs interactions. *Scientia Horticulturae*, 291(September 2021).  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110622>
- Carmen Gloria, L., Rodrigo Hasbún, Z., María Paz, J., Sanchez, M., & Darcy Rios, L. (2017). Efecto del genotipo y fuente de citoquinina en la etapa de iniciación de cultivo in vitro de tejido adulto de Castanea sativa Mill . Effect of Genotype and cytokines source at the initiation stage in vitro culture of adult. *Gayana Botanica*, 74(1), 30–40.
- Carrillo, R., & González, M. del C. A. (2021). Afforestation may influence changes in tailing heaps in a long time. *International Journal of Phytoremediation*, 23(5), 511–521. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1829543>
- Chambi, N. (2017). *Nivel de aplicación del Marco Legal de Contaminación del Medio Ambiente En Los Procedimientos De Control Interno Ambiental en la Actividad de la Pequeña Minería y Minería Artesanal de la Region de Puno - 2015*. 115.
- Chang Kee, J., Gonzales, M. J., Ponce, O., Ramírez, L., León, V., Torres, A., Corpus, M.,

- & Loayza-Muro, R. (2018). Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 33957–33966. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3325-z>
- Charles, W. (2009). Plant growth regulators. *Annals of Botany*, 64(3), 93. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087853>
- Chen, D., Zhang, H., Wang, Q., Shao, M., Li, X., Chen, D., Zeng, R., & Song, Y. (2020). Intraspecific variations in cadmium tolerance and phytoaccumulation in giant duckweed (*Spirodela polyrhiza*). *Journal of Hazardous Materials*, 395(January), 122672. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122672>
- Chen, J. li, Zou, C. xiong, Wang, W. da, Zheng, C. li, Jiang, Q. hong, & Wang, Z. (2024). Remediation of heavy metal contaminated soil in mining areas with vaterite-type biological calcium carbonate. *Process Safety and Environmental Protection*, 192(June), 649–659. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.10.084>
- Chen, Z., Liu, Q., Chen, S., Zhang, S., Wang, M., Mujtaba Munir, M. A., Feng, Y., He, Z., & Yang, X. (2022). Roles of exogenous plant growth regulators on phytoextraction of Cd/Pb/Zn by *Sedum alfredii* Hance in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 293(September 2021), 118510. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118510>
- Congreso de la Republica. (2004). Ley N° 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la Actividad Minera. *Minam*, 53(9), 1–30.
- Corredoira, E., Janeiro, L. V., & Jos, S. (2011). *Aliso Con Vistas a Su Conservación*. 49–57.
- Cruzado, E., Bierla, K., Torró, L., & Szpunar, J. (2021). Accumulation of as, ag, cd, cu, pb, and zn by native plants growing in soils contaminated by mining environmental liabilities in the peruvian andes. *Plants*, 10(2), 1–23. <https://doi.org/10.3390/plants10020241>
- Del Amo Rodriguez, S., Vergara Tenorio, M. del C., Ramos Prado, J. M., & Sainz Campillo, C. (2009). Germinación y manejo de especies forestales tropicales. In *Forestales Tropicales* (Vol. 1, Issue 1).
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandova, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.

- Demecsová, L., Zelinová, V., Liptáková, Ľ., Valentovičová, K., & Tamás, L. (2020). Indole-3-butyric acid priming reduced cadmium toxicity in barley root tip via NO generation and enhanced glutathione peroxidase activity. *Planta*, 252(3), 1–16.  
<https://doi.org/10.1007/s00425-020-03451-w>
- Devanesan, S., Shabab, M., & Paola, A. (2023). *Phytoremediation and genetic adaptation potencial of Jatropha curcas on heavy metals enriched mine tailings*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.105325>
- Domínguez-Rosales, S. M., González-Jiménez, M. de la L., Rosales-Gómez, C., Quiñones-Valles, C., Delgadillo-Díaz de León, S., Pérez-Molphe-Balch, E., & Mireles-Ordaz, S. J. (2008). El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento , mejoramiento y conservación de especies del género Agave. *Investigacion y Ciencia*, 41, 53–62.
- Ekin, U., & Dogan, M. (2024). Enhancing in vitro micropropagation of *Alternanthera reineckii* Briq. using various light-emitting diodes, culture media and plant growth regulators. *Kuwait Journal of Science*, 51(3), 100250.  
<https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100250>
- Ekosse, G. I. E., Fouche, P. S., & Forcheh, N. (2006). Granulometry, cluster analysis and spatial distribution of manganese contaminated soils, Kgwakgwe, southeastern Botswana. *International Journal of Environmental Studies*, 63(2), 155–169.  
<https://doi.org/10.1080/00207230600662021>
- Elumalai, P., Rajamohan, R., Thashbin Vayal Purayil, A., Menon, V., Pranav Srivatsan, R., Santhosh Kumar, A., Lakshminarayanan, S., Mainupriya, S., Nandi, S., Gao, X., Cui, J., & Parthipan, P. (2024). Biosurfactant and iron oxide nanoparticle-assisted bioremediation of soil co-contaminated with hydrocarbons and hazardous heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 497(August), 154677.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154677>
- Espinoza, G. (2001). Capítulo I: EIA y Desarrollo Sostenible. *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*, 183.
- Faisal, M., Ahmad, N., Anis, M., Alatar, A. A., & Qahtan, A. A. (2018). Auxin-cytokinin synergism in vitro for producing genetically stable plants of *Ruta graveolens* using shoot tip meristems. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 273–277.

<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.09.009>

- Fed, B., & Yield, M. (2007). *Kikuyu grass*. *January*, 1–7.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2006). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo Methods for determining granulometry and bulk density of the soil. *Venesuelos*, 37–48.
- Gajić, G., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2020). Feasibility of *Festuca rubra* L. native grass in phytoremediation. In *Phytoremediation Potential of Perennial Grasses*.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817732-7.00006-7>
- Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla*, 10, 48–60.
- Gantait, S., & Mahanta, M. (2022). Hyperhydricity-induced changes among in vitro regenerants of gerbera. *South African Journal of Botany*, 149, 496–501.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.06.038>
- García, E. M., León, V. Q., & Paredes, F. B. (2021). *suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro Lolium multiflorum L. ( Poaceae ) Phytoextraction of Pb and Cd , present in agricultural soils contaminated by heavy metals by the foxtail Lolium multiflorum L. ( Poaceae ) Fito extr.* 28(1), 149–162.
- Gaspar, T., Keveks, C., Penel, C., Greppin, H., Reid, D. M., & Thorpe, T. A. (1996). Plant hormones and plant growth regulators in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 32(4), 272–289. <https://doi.org/10.1007/BF02822700>
- George, E. F., Hall, M. A., & Klerk, G. J. De. (2008). Plant growth regulators II: Cytokinins, their analogues and antagonists. *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition*, 1, 205–226. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_6)
- Ghaderi, N., & Jafari, M. (2014). Efficient plant regeneration, genetic fidelity and high-level accumulation of two pharmaceutical compounds in regenerated plants of *Valeriana officinalis* L. *South African Journal of Botany*, 92, 19–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.01.010>
- Gonçalves, L. M., Machado, M. F. P. S., Ballesta, P., Mora, F., Gutierrez, M. A. M., & Mangolin, C. A. (2016). Organic supplement for in vitro propagation of the hybrid

Laeliocattleya (Orchidaceae). *Idesia*, 34(1), 47–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000100006>

Guerrero, J. (1998). *Interpretacion de analisis de suelos y recomendaciones*.

Gutierrez-Rosati, A., & Patrick Gonzales, B. (2019). Growth regulators for in vitro culture of three grapevine rootstocks (*Vitis vinifera* L.) used in the pisco industry. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 461–468. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.02>

Gutiérrez, H., & Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (McGRAW-HILL (ed.); segunda).

Hassan, S., Bhadwal, S. S., Khan, M., Sabreena, Nissa, K. U., Shah, R. A., Bhat, H. M., Bhat, S. A., Lone, I. M., & Ganai, B. A. (2024). Revitalizing contaminated lands: A state-of-the-art review on the remediation of mine-tailings using phytoremediation and genomic approaches. *Chemosphere*, 356(January), 141889. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141889>

Heisler, M. G., & Byrne, M. E. (2020). Progress in understanding the role of auxin in lateral organ development in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 53, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.10.007>

Hou, D., Jia, X., Wang, L., McGrath, S. P., Zhu, Y. G., Hu, Q., Zhao, F. J., Bank, M. S., O'Connor, D., & Nriagu, J. (2025). Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. *Science*, 388(6744), 316–321. <https://doi.org/10.1126/science.adr5214>

Huamani, E. (2017). Fitorremediación De Suelos Afectados Por Salinidad a Través De Planta Endémica Kikuyo (*Pennisetum Clandestinum*) Y Su Influencia Ambiental En La Población De Saramarca - Palpa - Ica 2017. *Universidad Andina Del Cusco*, 1–118. [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez\\_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Instituto Nacional de Innovacion Agraria (INIA). (2013). *Manejo y Utilización de Praderas Naturales en la Zona Altoandina*.

Jara-Peña, E. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583–598.

<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>

Jerzy, M., Zalewska, M., & Tymoszuk, A. (2015). Effect of kinetin on the elongation of adventitious shoots regenerated in vitro from ligulate florets in *Chrysanthemum × grandiflorum* Ramat. Kitam. *Acta Horticulturae*, 1083, 577–584.

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1083.77>

Jia, X., Zhang, B., Chen, W., Feng, B., & Guo, P. (2022). Development of phytoremediator screening strategy and exploration of *Pennisetum* aided chromium phytoremediation mechanisms in soil. *Chemosphere*, 289(December 2021), 133160.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133160>

Jurado, E., & Westoby, M. (1992). Germination biology of selected central Australian plants. *Australian Journal of Ecology*, 17(3), 341–348. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1992.tb00816.x>

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants (4th ed.). Taylor & Francis Group, CRC Press. 2010. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(4), 542.

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=50462447&site=eds-live>

Kalanzi, F., & Mwanja, C. K. (2023). Effect of nodal cutting position and plant growth regulator on bud sprouting of *Dendrocalamus giganteus* Wall. Ex Munro in Uganda. *Advances in Bamboo Science*, 2(January), 100016.

<https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2023.100016>

Katel, S., Mandal, H. R., Kattel, S., Yadav, S. P. S., & Lamshal, B. S. (2022). Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*, 8(12), e11959.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11959>

Kee, J. C., Gonzales, M. J., Ponce, O., Ramírez, L., León, V., Torres, A., Corpus, M., & Loayza-muro, R. (2018). *Accumulation of heavy metals in native Andean plants : potential tools for soil phytoremediation in Ancash ( Peru )*.

Khan, I., Awan, S. A., Rizwan, M., Ali, S., Zhang, X., & Huang, L. (2021). Arsenic behavior in soil-plant system and its detoxification mechanisms in plants: A review. *Environmental Pollution*, 286(May), 117389.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117389>

- Kim, H., Myung, E., Park, C., Choi, N., Lee, J., & Cho, K. (2024). Design of a washing ejector and column flotation based on the microbubble for heavy metal contaminants removal from contaminated soils: A pilot and laboratory-scale studies. *Results in Engineering*, 22(February), 102312. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102312>
- Laguna Ibarra, Y., Cueva Lopez, J., Tamariz Angeles, C., & Olivera Gonzales, P. (2019). Efecto de los reguladores de crecimiento vegetal en la multiplicación y enraizamiento in vitro de senecio calvus (asteraceae), planta medicinal altoandina, endémica del Perú. *Revista*, 21(2), 111–121.
- Lee, Y. Y., Lee, S. Y., & Cho, K. S. (2023). Phytoremediation and bacterial community dynamics of diesel- and heavy metal-contaminated soil: Long-term monitoring on a pilot scale. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 183(June), 105642. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2023.105642>
- Leon Menacho, V. A. (2017). “Capacidad Fitorremediadora De Especies Altoandinas Para Suelos Contaminados Por Metales Pesados Procedentes De La Compañía Minera Lincuna Sac, En Condiciones De Invernadero, 2015-2016.” *TESIS*.
- Levett, A., Gagen, E. J., Levett, I., & Erskine, P. D. (2023). Integrating microalgae production into mine closure plans. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 337). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117736>
- Lezama, J., & Saldaña, D. (2017). Identificación de flora herbácea con mayor valor de importancia y evaluación de su capacidad fitorremediadora en suelos contaminados, Tumbacucho 2018. *Ucv*, 358.
- Li, N., Hongwei, J., & Su, Y. (2022). Phytoremediation of arsenic contaminated soil based on drip irrigation and intercropping. *Science of the Total Environment*, 850(May), 157970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157970>
- Li, Q., Wang, H., Wang, H., Li, Y., Wang, Z., & Zhang, X. (2018). Effect of arsenate on endogenous levels of cytokinins with different existing forms in two Pteris species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132(July), 652–659. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.009>
- Li, Z., Wang, P., Liu, L., Zheng, Y., & Xie, D. (2021). Catena High negative surface charge increases the acidification risk of purple soil in China. *Catena*, 196(October 2019),

104819. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104819>

- Liu, L., Wang, J., Zhai, J., Yan, D., & Lin, Z. (2024). Regional disparities and technological approaches in heavy metal remediation: A comprehensive analysis of soil contamination in Asia. *Chemosphere*, 366(September), 143485. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143485>
- Lu, M., Zhang, Z. Z., Wang, J. X., Zhang, M., Xu, Y. X., & Wu, X. J. (2014). Interaction of heavy metals and pyrene on their fates in soil and tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Environmental Science and Technology*, 48(2), 1158–1165. <https://doi.org/10.1021/es403337t>
- Lu, X., Fei, L., Li, Y., Du, J., Ma, W., Huang, H., & Wang, J. (2023). Effect of different plant growth regulators on callus and adventitious shoots induction, polysaccharides accumulation and antioxidant activity of *Rhodiola dumulosa*. *Chinese Herbal Medicines*, 15(2), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2022.07.005>
- Madyiwa, S., Chimbari, M., Nyamangara, J., & Bangira, C. (2002). Cumulative effects of sewage sludge and effluent mixture application on soil properties of a sandy soil under a mixture of star and kikuyu grasses in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 27(11–22), 747–753. [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00062-1)
- Manorama Thampatti, K. C., Beena, V. I., Meera, A. V., & Ajayan, A. S. (2020). *Phytoremediation of Metals by Aquatic Macrophytes*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_6)
- Marrero Coto, J., Amores Sánchez, I., & Coto Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3), 52–71.
- Martínez, C., Ácido, B. D. E., Vega-celedón, P., Martínez, H. C., & González, M. (2016). *BIOSÍNTESIS DE ÁCIDO INDOL-3-ACÉTICO Y PROMOCIÓN Review promoting by bacteria*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>
- Mehana, E., Rahmani, A., & Aly, S. (2015). Immunostimulants and Fish Culture: An Overview. *Annual Research & Review in Biology*, 5(6), 477–489. <https://doi.org/10.9734/arrb/2015/9558>
- MINAM. (2014). Guía para el Muestreo de Suelos. *Ministerio Del Ambiente*, 72.

<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>

- Mohamad, M. E., Awad, A. A., Majrashi, A., Esadek, O. A. A., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., & Gendy, A. S. (2022). In vitro study on the effect of cytokines and auxins addition to growth medium on the micropropagation and rooting of Paulownia species (Paulownia hybrid and Paulownia tomentosa). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1598–1603. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.003>
- Montesinos tubee, D. B. (2020). GUÍA DE COLECTA, IDENTIFICACIÓN, TRANSPORTE Y ENTREGA DE DUPLICADOS DE PLANTAS EN PERU. 2020, May 2020. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16359.62888>
- Motuzova, G. V., Minkina, T. M., Karpova, E. A., Barsova, N. U., & Mandzhieva, S. S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144(PB), 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>
- Muñoz Castellanos, L., Nevárez Moorillón, G., Ballinas Casarrubias, M., & Peralta Pérez, M. (2010). FITORREMEDIACIÓN COMO UNA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS. *Revista Internacional*, 1–9.
- Mur Paredes, J. (2015). *Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros Assessment of the applicability of phytoremediation in mining tailings using forest species of the peruvian highland.*
- Musco, A., Panuccio, M. R., & Eshel, A. (2013). Ecophysiology of Pennisetum clandestinum: A valuable salt tolerant grass. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.009>
- Nafeesa, F., Azrul, M., Repin, R., Azizi, Z., & Harumain, S. (2023). Metal uptake and tolerance in hyperaccumulator plants: Advancing phytomimic strategies. *Articulo*. <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100836>
- Nalukui, M., Chirwa, P., M, T., & Syampungani, S. (2023). *Species richness and Phytoremediation potencial of mine wastelands native trees across the zambian copperbelt region.* <https://doi.org/http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.el3585>
- Ñañez Alcántara, D. Alejandra. (2016). Estudio y selección de especies vegetales con

potencial biorremediador en drenajes ácidos de roca y relaves minerales de la cuenca del río Santa (Áncash, Perú). *Ucv, I(02)*, 0–116.

Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. J. (2004). La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. En México es necesario crear recursos humanos y financieros en este campo emergente. *Biotechnologia y Biologia Molecular, September*, 30.

Okem, A., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2015). Enhancing Phytoremediation Potential of *Pennisetum clandestinum* Hochst in Cadmium-Contaminated Soil Using Smoke-Water and Smoke-Isolated Karrikinolide. *International Journal of Phytoremediation, 17(11)*, 1046–1052. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.981245>

Oladoye, P. O., Olowe, O. M., & Asemoloye, M. D. (2022). Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. *Chemosphere, 288(P2)*, 132555. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132555>

Peláez Peláez, M. J., Bustamante cano, John J., & Daniel, Gomez L. E. (2016). *Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de.* 43, 82–101. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.5>

Perales Aguilar, L., Santos Díaz, M. del S., Gómez Aguirre, Y. A., Ramos Gómez, M. S., & Perez Molphe Balch, E. (2020). Análisis in vitro de la acumulación de metales pesados en plantas de la familia Asparagaceae tolerantes a la baja disponibilidad de agua. *Nova Scientia, 12(24)*, 1–22. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2081>

Perea Dallos, M. (2010). Cultivo de Tejidos Vegetales In Vitro. In *Angewandte Chemie International Edition, 6(11)*, 951–952. (primera). [http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB 2.pdf](http://repo.iain-tulungagung.ac.id/5510/5/BAB%202.pdf)

Perlikowski, D., Augustyniak, A., Skiryicz, A., Pawłowicz, I., Masajada, K., Michaelis, A., & Kosmala, A. (2020). Efficient root metabolism improves drought resistance of *Festuca arundinacea*. *Plant and Cell Physiology, 61(3)*, 492–504. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz215>

Pezo, M., Márquez-Dávila, K., & Solis, R. (2019). Gibberellic acid increases the yield of adult plants of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). *Scientia Agropecuaria, 10(4)*, 455–

460. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.01>

Porfírio, S., Gomes da Silva, M. D. R., Peixe, A., Cabrita, M. J., & Azadi, P. (2016). Current analytical methods for plant auxin quantification - A review. *Analytica Chimica Acta*, 902, 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.10.035>

Pouresmaieli, M., Ataei, M., Forouzandeh, P., Azizollahi, P., & Mahmoudifard, M. (2022). Recent progress on sustainable phytoremediation of heavy metals from soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108482. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108482>

Qian, L., Mei, C., Li, T., Luo, W., Liu, W., Chen, M., Yang, X., Li, X., Cheng, B., & Ma, H. (2024). A versatile biochar fertilizer used for adsorption of heavy metals and enhancement of plant growth in metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation*, 36, 103743. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103743>

Quispe, R. F., Belizario, G., Chui, H. N., Huaquisto, S., Calatayud, A. P., & Yábar, P. S. (2019). Concentración De Metales Pesados: Cromo, Cadmio Y Plomo En Los Sedimentos Superficiales En El Río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2), 83–90. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>

Rahman, M. E., Shamsuzzaman, S. M., Mahmud, K., Uddin, M. K., Ghani, S. S. A., Shukor, M. Y. A., Chompa, S. S., Akter, A., Nabayi, A., Sadeq, B. M., & Halmi, M. I. E. Bin. (2024). Isolation, screening, identification, and characterization of arsenic resistant plant growth promoting rhizobacteria isolated from Pennisetum purpureum. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 59(February), 103237. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103237>

Rahman, M. E., Uddin, M. K., Shamsuzzaman, S. M., Mahmud, K., Shukor, M. Y. A., Ghani, S. S. A., Nabayi, A., Sadeq, B. M., Chompa, S. S., Akter, A., & Halmi, M. I. E. Bin. (2024). Potential use of Pennisetum purpureum for phytoremediation of arsenic in treatment sand: A phytotoxicity study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 60, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103300>

Raskin, L., Smith, R., & Salt, D. (2000). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*, 8, 221–226.

- Reyes Guzmán, M., & Avendaño Prieto, G. (2012). Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo / Environmental study on ecological lead risks in soils. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 72, 66–75. <https://doi.org/10.21158/01208160.n72.2012.568>
- Rodríguez, J. M., Castañeda, J. J., Gutierrez, A., del toro, F., & Plaza, A. (2021). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LA MICROPROPAGACIÓN DE PLANTAS*.
- Romero, M., Bravo, S., & Guzmán, M. (2021). Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros. *Repositorio de Tesis PUCP*, 1–110. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19519>
- Rostami, S., & Azhdarpoor, A. (2019). The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. *Chemosphere*, 220, 818–827. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.203>
- Salazar-Díaz, R., & Urrea Trujillo, A. I. (2025). In vitro propagation of *Espeletia occidentalis*: a strategy for the conservation and reintroduction of a near-threatened Andean species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 161(3). <https://doi.org/10.1007/s11240-025-03083-6>
- Savitikadi, P., Jogam, P., Rohela, G. K., Ellendula, R., Sandhya, D., Allini, V. R., & Abbagani, S. (2020). Direct regeneration and genetic fidelity analysis of regenerated plants of *Andrographis echinoides* (L.) - An important medicinal plant. *Industrial Crops and Products*, 155(March), 112766. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112766>
- Shah, V., & Daverey, A. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation*, 18, 100774. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
- Shahzad, A., Zahra, A., Li, H. Y., Qin, M., Wu, H., Wen, M. Q., Ali, M., Iqbal, Y., Xie, S. H., Sattar, S., & Zafar, S. (2024). Modern perspectives of heavy metals alleviation from oil contaminated soil: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282(March), 116698. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116698>
- Sharry, S., Adema, M., Abedine, W., Basiglio Cordal, M. de los A., Clara Bosio, M., Boeri,

- P., Briones, M. V., Cedrés Gazo, M., Salvio Escandón, A., Gugole, M., Lannicelli, J., Nikoloff, N., Pariani, S., Rivas, C., & Villarreal, B. (2020). Plantas de probeta. In *Plantas de probeta*. <https://doi.org/10.35537/10915/46738>
- Shmaefsky, B. (2020). *Phytoremediation In-situ Applications* (Lone Star College–Kingwood (ed.); primera). [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8\\_1](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-00099-8_1)
- Singh, A., & Kostova, I. (2024). Health effects of heavy metal contaminants Vis-à-Vis microbial response in their bioremediation. *Inorganica Chimica Acta*, 568(December 2023), 122068. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2024.122068>
- Sofó, A., Khan, N. A., D'Ippolito, I., & Reyes, F. (2022). Subtoxic levels of some heavy metals cause differential root-shoot structure, morphology and auxins levels in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 173, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.027>
- Steliga, T., & Kluk, D. (2020). Application of *Festuca arundinacea* in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194(October 2019), 110409. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110409>
- Steven, J., Cortes, A., & Jovanna, A. G. (2019). *Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal Main hormonal regulators and their interactions in plant growth*.
- Su, J., Guo, Z., Zhang, M., Xie, Y., Shi, R., Huang, X., Tuo, Y., He, X., & Xiang, P. (2024). Mn-modified bamboo biochar improves soil quality and immobilizes heavy metals in contaminated soils. *Environmental Technology and Innovation*, 34(February), 103630. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103630>
- Sucari Laura, A. (2022). *Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín*.
- Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M., & Rastogi, A. (2019). Phytohormone Priming: Regulator for Heavy Metal Stress in Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 739–752. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9886-8>

- T. Dominguez, M. (2015). *Fitoestabilización de suelos contaminados clasificación Problemas del uso de la tierra : Agronómicas : Materia Ambiente natural.*
- Talla, S. K., Bagari, P., Manga, S., Aileni, M., & Mamidala, P. (2022). Comparative study of micropropagated plants of Grand Naine banana during in vitro regeneration and ex vitro acclimatization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42(March), 102325. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102325>
- Tang, Y., Xing, Y., Wang, X., Ya, H., Zhang, T., Lv, M., Wang, J., Zhang, H., Dai, W., Zhang, D., Zheng, R., & Jiang, B. (2024). PET microplastics influenced microbial community and heavy metal speciation in heavy-metal contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, 201(June), 105488. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105488>
- Thapa, C. B., Pant, K. K., Bhattarai, H. D., Ghimire, M., Sah, A. K., & Pant, B. (2024). In vitro propagation and evaluation of genetic homogeneity using RAPD, ISSR, and SCoT markers in *Piper longum* L. *South African Journal of Botany*, 172, 609–618. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.07.066>
- Thomson, G. H. (1975). Plant growth regulators [4]. *Chemical and Engineering NEWS*, 53(48), 5.
- Torres Saacedra, A. M. (2018). “*FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE ESPECIES ALTOANDINAS PARA SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS PROVENIENTES DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MESAPATA, EN CONDICIONES DE INVERNADERO, 2015 - 2016.*”
- Torres Saavedra, A. M. (2018). Factor de bioconcentración y traslocación de las especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de mesapata, en condiciones de invernadero, 2015-2016. *Tesis.*
- Trillo Zárate, F. C., Campos, C. B., Delgado, J. N., Arana, N. Z., & Mariazza, E. F. (2020). Effect of N, P and K fertilization in the production of aerial biomass of cuttings of *Festuca dolichophylla* (Presl, 1830) and *Festuca humilior* (Nees & Meyen, 1841). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(2), 1–12. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17854>
- Trillo Zárate, F., Delgado, J. N., Terrazas, L. A., Campos, C. B., & Mariazza, E. F. (2020). Comparison of autoecological indicators in growth dynamics of *Festuca dolichophylla*

- (Presl, 1830) and *Festuca humilior* (Nees & Meyen, 1841). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 31(3). <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V31I3.18743>
- Tu, T., Zheng, S., Ren, P., Meng, X., Zhao, J., Chen, Q., & Li, C. (2021). Coordinated cytokinin signaling and auxin biosynthesis mediates arsenate-induced root growth inhibition. *Plant Physiology*, 185(3), 1166–1181. <https://doi.org/10.1093/PLPHYS/KIAA072>
- Vásquez H, E. (2016). *Metas del Perú al Bicentenario. lima: Consorcio de universidades*, 370.
- Venegas Casanova, C. (2016). *CAPACIDAD EXTRACCIÓN DE LA ESPECIE Stipiuichu EN LOS PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE HUARI – LA OROYA DE LA UNCP*. 1–98. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/5783>
- Venegas González, A., Muñoz, V. L., & Toral Ibañeza, M. (2016). Influencia del uso de reguladores de crecimiento sobre brotes vegetativos y número de estróbilos masculinos en *Pinus pinea* L. En Chile. *Ciencia Florestal*, 26(4), 1087–1096. <https://doi.org/10.5902/1980509824997>
- Vernier, M. R., & Cardoso, B. S. (2013). INFLUÊNCIA DO ÁCIDO INDOL-BUTÍRICO NO ENRAIZAMENTO DE ESTACAS EM ESPÉCIES FRUTÍFERAS E ORNAMENTAIS. *Revista Eletrônica de Educação e Ciência (REEC)*, 03(2), 11–16.
- Vidal, J., & Rojas, R. (2014). *Propagación de flora nativa*.
- Vigil, M., & Endara, A. (2006). *Capítulo XV Hormonas y Reguladores del Crecimiento : Auxinas , Giberelinas y Citocininas*.
- Vizconde Suárez, J. Y. (2023). La fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros a través de *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum*. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(52), e25283. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25283>
- Volke Sepulveda, T., Velazco Trejo, J. A., & De la Rosa Perez, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediacion* (I. N. de E. (INE-Semarnat) (ed.); primera ed). <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>

- Vyas, S., Guha, S., Bhattacharya, M., & Rao, I. U. (2009). Rapid regeneration of plants of *Dendrobium lituiflorum* Lindl. (Orchidaceae) by using banana extract. *Scientia Horticulturae*, *121*(1), 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.012>
- Wang, J., & Aghajani Delavar, M. (2024). Modelling phytoremediation: Concepts, methods, challenges and perspectives. *Soil and Environmental Health*, *2*(1), 100062. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2024.100062>
- Wang, M., Zhang, D. Q., Dong, J. W., & Tan, S. K. (2017). Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *57*, 293–311. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.12.019>
- Wang, P., Sun, Z., Hu, Y., & Cheng, H. (2019). Science of the Total Environment Leaching of heavy metals from abandoned mine tailings brought by precipitation and the associated environmental impact. *Science of the Total Environment*, *695*, 133893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133893>
- Widmer, J., & Norgrove, L. (2023). Identifying candidates for the phytoremediation of copper in viticultural soils: A systematic review. *Environmental Research*, *216*(P2), 114518. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114518>
- Yang, G., Luo, Y., Sun, L., Cao, M., & Luo, J. (2021). Influence of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> levels on phytoremediation effect of *Festuca arundinacea* intercropped with *Echinochloa caudata*. *Chemosphere*, *270*, 128654. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128654>
- Zhang, A., Wang, H., Shao, Q., Xu, M., Zhang, W., & Li, M. (2015). Large scale in vitro propagation of *Anoectochilus roxburghii* for commercial application: Pharmaceutically important and ornamental plant. *Industrial Crops and Products*, *70*, 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.032>
- Zhang, W. J., Dong, J. L., Liang, B. G., Jin, Y. S., & Wang, T. (2006). Highly efficient embryogenesis and plant regeneration of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) from mature seed-derived calli. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, *42*(2), 114–118. <https://doi.org/10.1079/IVP2005733>
- Zhang, X., Zeng, B., Li, H., Huang, J., Jiang, L., Zhang, X., Tan, Z., Wu, Z., Qin, X., Feng, C., & Huang, Z. (2022). Soil heavy metals and phytoremediation by *Populus deltoides*

- alter the structure and function of bacterial community in mine ecosystems. In *Applied Soil Ecology* (Vol. 172). <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104359>
- Zhang, Y., Fu, P., Li, S., Deng, W., Guo, L., Li, S., & Wang, X. (2024). Remediation of multiple heavy metals contaminated soils by Mn and Fe-added solid wastes: Effect and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 497(August), 154649. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.154649>
- Zhang, Y., Li, M., Su, A., Lv, X., Qiu, Y., & Xu, Y. (2023). Co-planting improves the phytoremediation efficiency of combined phenanthrene and copper co-contaminated soils. *Journal of Cleaner Production*, 382(July 2022), 135380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135380>
- Zheng, R., Teng, W., Hu, Y., Hou, X., Shi, D., Tian, X., Scullion, J., & Wu, J. (2022). Cadmium uptake by a hyperaccumulator and three Pennisetum grasses with associated rhizosphere effects. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 1845–1857. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15043-6>
- Zhou, X., Lei, B., Yin, D., Kang, J., He, Z., He, T., & Xu, X. (2023). Application potential of biofertilizer-assisted Pennisetum giganteum in safe utilization of mercury-contaminated paddy fields. *Journal of Environmental Management*, 348(October), 119291. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119291>
- Zhuang, P., McBride, M. B., Xia, H., Li, N., & Li, Z. (2009). Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*, 407(5), 1551–1561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.061>

## **ANEXOS**

### ANEXO 1. Operacionalización de variables.

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE
VARIABLE INDEPENDIENTE Los agentes reguladores de crecimiento	Los reguladores del crecimiento vegetal son sustancias químicas que mejoran el crecimiento de las plantas cuando se aplican en cantidades muy pequeñas (Pezo et al., 2019).	En el proceso de fitorremediación se enfocará de tipo aplicativo donde se tratará con agentes reguladores de crecimiento (Benavides, 1977).	Acido 3-inodolbutirico	Concentración	1 mg/L 5 mg/L 10 mg/L
			Kinetina	Concentración	1 mg/L 5 mg/L 10 mg/L
			Capacidad de propagación por cultivo in vitro	Vigor de propagación	%
VARIABLE DEPENDIENTE Fitorremediación con <i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo) y <i>Festuca dolichophylla</i> (Iru Ichu) de suelos contaminado en pasivo ambiental minero	La fitorremediación es una estrategia fitotecnológica que consiste en el uso de plantas para absorber contaminantes del suelo, por medio de procesos fisiológicos de las plantas (Porfirio et al., 2016).	Se tomará en cuenta los resultados la capacidad fitorremediadora de especies nativas, a la misma vez, se determinará los efectos en la fisiología vegetal y la concentración de metales en los suelos (Porfirio et al., 2016).	Capacidad fitorremediadora	Factor bioacumulación	mg/Kg
				Factor de translocación	mg/Kg
			Fisiología vegetal	Altura de la planta	cm
				Cantidad de hojas	UND
				Tamaño de la raíz	cm
				Humedad	%
				Temperatura	°c
				pH	0-14
				Conductividad eléctrica	µS/cm
				Granulometría y Textura	Porcentaje (%)
	Arsénico	mg/Kg			
	Cadmio	mg/Kg			
	Plomo	mg/Kg			

## ANEXO 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLE DE ESTUDIO	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento, Mañazo 2023?</p> <p>Problemas específicos ¿Cuál es la capacidad de propagación por cultivo in vitro de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>, aplicando los reguladores de crecimiento? ¿Cuál será el factor de traslocación y bioacumulación de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento, Mañazo 2023? ¿Cuál será la influencia de los reguladores de crecimiento en la fisiología vegetal de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>? ¿Cuál es la concentración de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>, en ambiente controlado, aplicando los reguladores de crecimiento?</p>	<p>Objetivo general Determinar la capacidad de fitorremediación de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal, Mañazo 2023.</p> <p>Objetivos específicos Evaluar la capacidad de propagación por cultivo in vitro de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> aplicando los reguladores de crecimiento. Determinar el factor de traslocación y bioacumulación de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento, Mañazo 2023 Determinar la influencia de los reguladores de crecimiento en la fisiología vegetal de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> Determinar la concentración de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>, en ambiente controlado, aplicando los reguladores de crecimiento.</p>	<p>Hipótesis general Las especies <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> tienen la capacidad fitorremediadora de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal.</p> <p>Hipótesis específicas Las especies <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> tienen una gran capacidad de propagación por cultivo in vitro para la fitorremediación del pasivo ambiental minero. Se obtienen valores altos del factor de traslocación y bioacumulación de Pb, Cd y As en <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero, aplicando los reguladores de crecimiento vegetal. Los reguladores de crecimiento influyen sobre la fisiología vegetal de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>. La adsorción de Pb, Cd y As del suelo contaminado por <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i> aplicando los reguladores de crecimiento es eficiente.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Reguladores de crecimiento vegetal</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Fitorremediación con <i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo) y <i>Festuca dolichophylla</i> (Iru Ichu) de suelos contaminado en pasivo ambiental minero</p>	<p>Acido inodolbutirico 3-</p> <p>Kinetina</p> <p>Capacidad de propagación por cultivo in vitro</p> <p>Capacidad fitorremediadora</p> <p>Fisiología vegetal</p> <p>Parámetros fisicoquímicos</p>	<p>Concentración</p> <p>Concentración</p> <p>Vigor de propagación</p> <p>Factor bioacumulación</p> <p>Factor de translocación</p> <p>Altura de la planta</p> <p>Cantidad de hojas</p> <p>Tamaño de la raíz</p> <p>Temperatura</p> <p>pH</p> <p>Conductividad eléctrica</p> <p>Granulometría y Textura</p> <p>Arsénico</p> <p>Cadmio</p> <p>Plomo</p>	<p>1 mg/L</p> <p>5 mg/L</p> <p>10 mg/L</p> <p>1 mg/L</p> <p>5 mg/L</p> <p>10 mg/L</p> <p>%</p> <p>mg/Kg</p> <p>mg/Kg</p> <p>cm</p> <p>UND</p> <p>cm</p> <p>°C</p> <p>0-14</p> <p>µS/cm</p> <p>Porcentaje (%)</p> <p>mg/Kg</p> <p>mg/Kg</p> <p>mg/Kg</p>	<p>TIPO Cuantitativa Básica</p> <p>NIVEL Aplicativo DISEÑO Experimental Diseño de Bloque Completamente al Azar</p> <p>MÉTODO Tratamiento POBLACIÓN La población, según Sanchez et al., (2018) la población es el conjunto formado por todos los elementos que posee una serie de características comunes. Para el presente trabajo de investigación está conformada por las especies herbáceas altoandinas de <i>Pennisetum clandestinum</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>. MUESTRA. En este trabajo, el muestreo de las especies herbáceas se utilizará el método no probabilístico, en el cual, de acuerdo con Sanchez et al., (2018) el muestreo no probabilístico se basa en el criterio del investigador. INSTRUMENTOS Ficha de recolección de datos</p>

### ANEXO 3. Panel fotográfico de ejecución del trabajo de investigación



Figura 48. Lavado de material para cultivo in vitro.



Figura 49. Desinfección de frascos.



Figura 50. Secado de los frascos



Figura 51. Forrado de frascos para la desinfección en la estufa.



Figura 52. Desinfección de las tapas de frasco



Figura 53. Equipo de desinfección



Figura 54. Pesado de hormonas de crecimiento.



Figura 55. Pesado de medio de cultivo y nutrientes.



Figura 56. Pesado de sacarosa.



Figura 57. Preparación de medio de cultivo MS.



Figura 58. Agitación de medio de cultivo



Figura 59. Regulación de Ph de cada cultivo.



Figura 60. Forrado las muestras de medio cultivo para el autoclavado.



Figura 61. Autoclavado de las muestras.



Figura 62. Retiro de muestras después del auto clavado.



Figura 63. Gelificación del medio de cultivo en frascos.



Figura 64. Muestra de *Pennisetum clandestinum* y *Festuca dolichophylla*



Figura 65. Corte de nódulos radiculares.



Figura 66. Explantes para el cultivo in vitro.



Figura 67. Insumos para la desinfección de explantes.



Figura 68. Desinfección de explantes con cloro, etanol al 70 % e hipoclorito de sodio.



Figura 69. Enjuagues sucesivos con agua destilada.



Figura 70. Equipo de cámara de desinfección.



Figura 71. Siembra de explantes dentro de la cámara.



Figura 72. Siembra de las dos especies en medio de cultivo.



Figura 73. Siembra de tres explantes en cada frasco.



Figura 74. Traslado de muestras a cámara de crecimiento.



Figura 75. Incubación en la cámara de crecimiento las muestras.



Figura 76. Dos días de incubación de *festuca dolichophylla*.



Figura 77. Dos días de incubación de *Pennisetum clandestinum*.

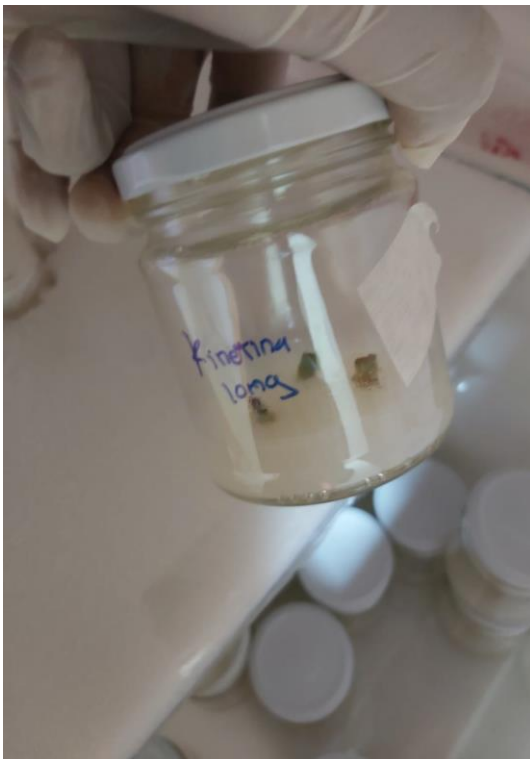


Figura 78. Codificación de las muestras.



Figura 79. Quince días de cultivo in vitro.



Figura 80. Muestra de control.



Figura 81. Quince días de cultivo in vitro.

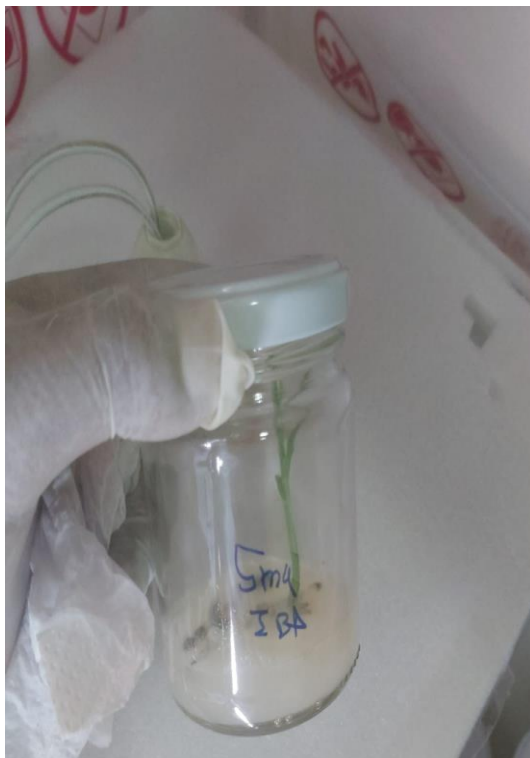


Figura 82. Muestra de IBA 5mg/l, día 20.



Figura 83. Muestra de IBA 1mg/l, día 20.



Figura 84. Día 20, se observa la especie de *Pennisetum clandestinum*.



Figura 85. Día 20, se observa la especie de *Festuca dolichophylla*.



Figura 86. *Festuca dolichophylla* a diferentes tratamientos.



Figura 87. Muestra de *Festuca dolichophylla* a los 25 días.

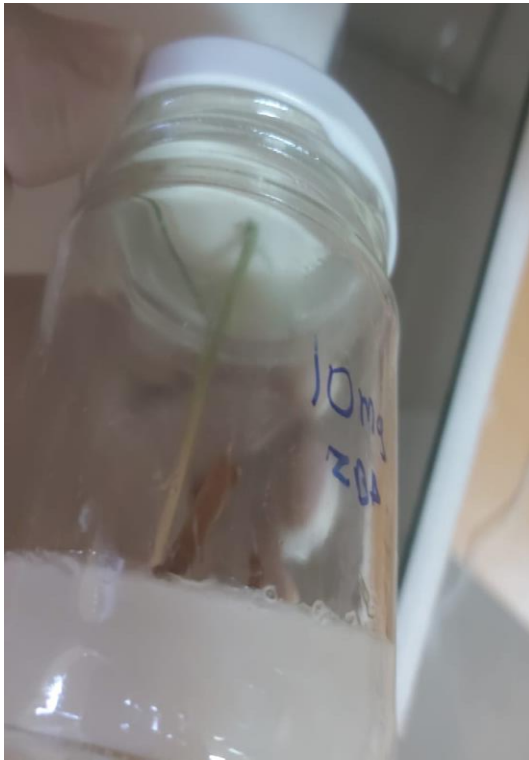


Figura 88. *Festuca dolichophylla* a 10mg/l de IBA.



Figura 89. *Festuca dolichophylla* a 10mg/l de kinetina.



Figura 90. *Festuca dolichophylla* a los 30 días



Figura 91. *Festuca dolichophylla* de 5mg/l de IBA.

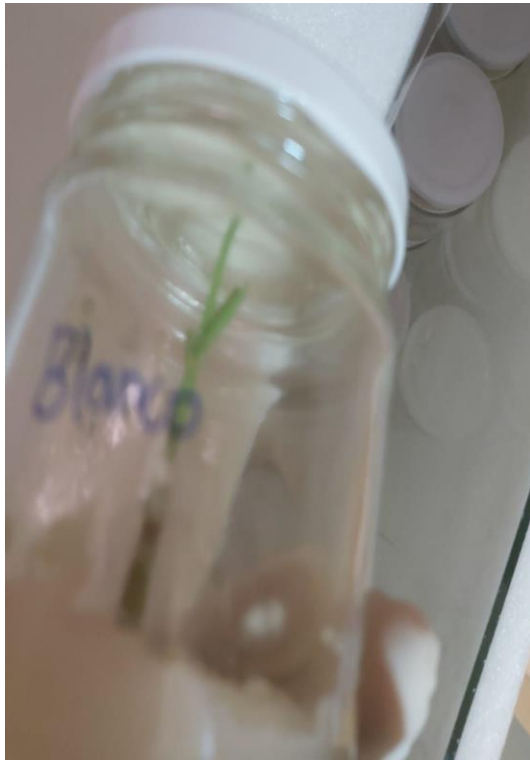


Figura 92. Muestra de control de *Pennisetum clandestinum*.

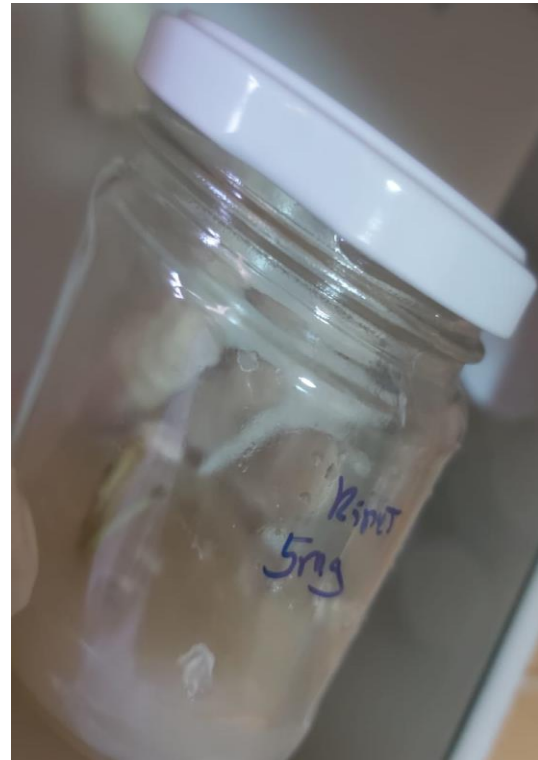


Figura 93. *Pennisetum clandestinum* a 5mg/l.

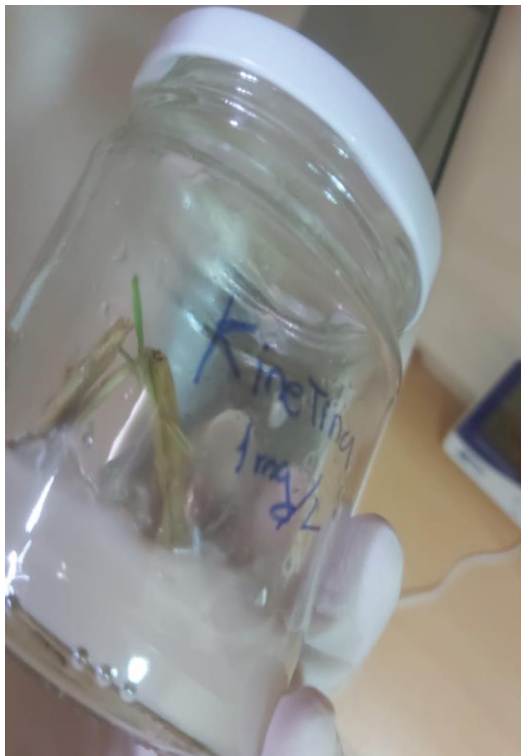


Figura 94. *Pennisetum clandestinum* a 1mg/l de kinetina.



Figura 95. Muestra de *Pennisetum clandestinum* con brotes.



Figura 96. Retiro de cámara de crecimiento después de Cultivo in vitro.



Figura 97. *Pennisetum clandestinum* a los 30 días de 1mg/l de IBA.



Figura 99. *Festuca dolichophylla* de 10mg/l de kinetina.



Figura 100. Trasplante a maceteros después de cultivo in vitro, se observa la raíz



Figura 101. Trasplante de *Pennisetum clandestinum* después de cultivo in vitro.



Figura 102. Se observa la especie de *Festuca dolichophylla*.

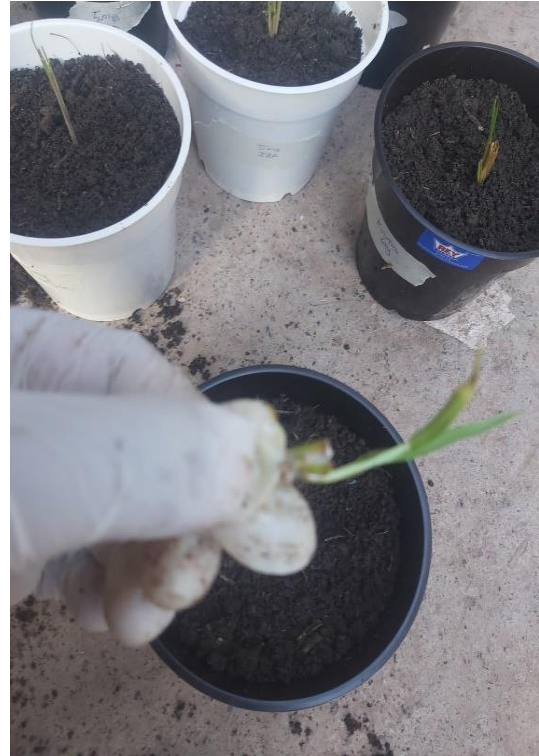


Figura 103. Trasplante para su aclimatación.



Figura 104. Se observa la **raíz** de *Festuca dolichophylla*.



Figura 105. *Festuca dolichophylla* a 10mg/l de IBA.



Figura 106. Trasplante de todas las muestras a los maceteros.



Figura 107. Toma de muestras de suelo.



Figura 108. Toma de muestras del pasivo Ambiental minero de Mañazo.



Figura 109. Toma de muestras de profundidad de suelo.



Figura 110. Toma de muestras en bolsas herméticas.



Figura 111. Toma de muestras de suelo superficiales.



Figura 112. Punto de muestreo de suelo de pasivo Ambiental minero.



Figura 113. Trasplante al suelo contaminado.



Figura 114. *Festuca dolichophylla* primer día expuesto al suelo contaminado.



Figura 115. *Festuca dolichophylla* 2 meses expuesto al suelo contaminado.



Figura 116. Tres meses de tratamiento de *Pennisetum clandestinum*.



Figura 117. Cuatro meses de Tratamiento



Figura 118. Se observa la raíz a los tres meses de tratamiento de *Festuca dolichophylla*.



Figura 119. Se observa la especie de *Pennisetum clandestinum*.



Figura 120. Raíz de *Pennisetum clandestinum* a los 5 meses



Figura 121. *Festuca dolichophylla* a los 5 meses



Figura 122. Plantas a los cinco meses de tratamiento.



Figura 123. Raíz de *Festuca dolichophylla*



Figura 124. Plantas a los cinco meses de tratamiento.



Figura 125. Riego de las plantas.



Figura 126. Raíces a los seis meses de tratamiento



Figura 127. *Pennisetum clandestinum*, a los seis meses de tratamiento.



Figura 128. *Festuca dolichophylla* a los seis meses de tratamiento.



Figura 129. *Pennisetum clandestinum* a los seis meses de tratamiento.



Figura 130. Plantas a los seis meses de tratamiento.



Figura 131. Medición de altura de *Festuca dolichophylla*.



Figura 132. Medición de altura de *Pennisetum clandestinum*.



Figura 133. Medición de conductividad eléctrica del suelo.



Figura 134. Medición de PH del suelo tratado



Figura 135. Muestra de suelo llevado al laboratorio de la UNAJ.



Figura 136. Preparación de suelo para la medición de PH.



Figura 137. Pesado de muestra de suelo para determinar PH y CE.



Figura 138. Preparación para determinar la textura del suelo.



Figura 139. Peso de muestra de suelo para determinar la textura del suelo.



Figura 140. Pesado de muestras de suelo.



Figura 141. Determinación de la granulometría del suelo.



Figura 142. Tamizando las muestras de suelo.

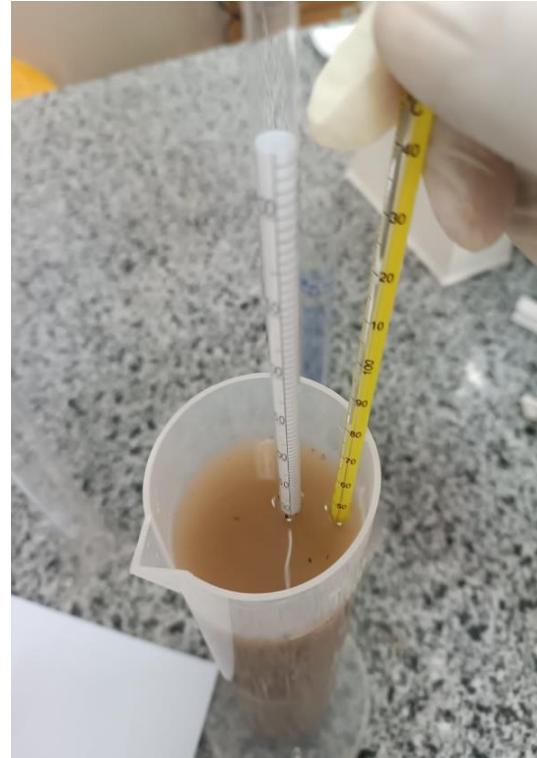


Figura 143. Medición de la densidad y temperatura a los 40s



Figura 144. Medición de PH y conductividad eléctrica del suelo contaminado.



Figura 145. Pesado de la biomasa húmeda para determinar la humedad.

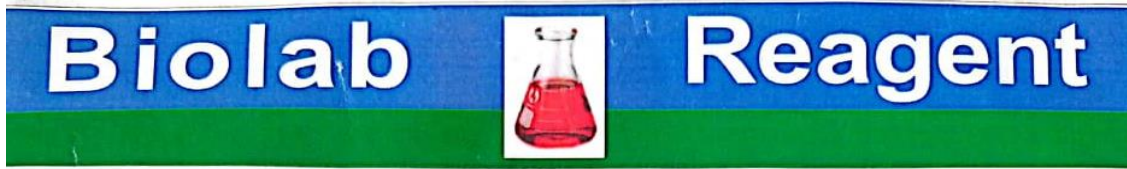


Figura 146. Secado la biomasa húmeda a 105 °C de las especies vegetales.



Figura 147. Retiro después de secar para realizar el respectivo pesaje.

ANEXO 4. Certificado de análisis de Acido Indol 3-Butirico



**Certificado Análisis**

**Denominación : ACIDO INDOL 3-BUTIRICO**

**Lote : 8103**

**Expiración : 22/09/2026**

**General**

**Otros nombres Ácido 3-indolbutírico, Ácido indolbutírico, 3-AIB, AIB**

**Propiedades físicas**

Apariencia	Sólido blanco
Densidad	1252 kg/m <sup>3</sup> ; 1,252 g/cm <sup>3</sup>
Masa molar	203,237 g/mol
Punto de fusión	126 °C (399 K)
Punto de ebullición	426 °C (699 K)

  
Q.C. Incharge

**BIOLAB DEL PERU**  
Elaborado en Argentina

ANEXO 5. Certificado de analisis de kinetina



**Certificado de Análisis**

**Denominación : Kinetina**

**Lote : K-1410**

**Expiración : 12/08/2026**

---

**CAS N° 525-79-1**

**Propiedades**

Fórmula química	C <sub>10</sub> H <sub>9</sub> N <sub>5</sub> O
Masa molar	215.216 g·mol <sup>-1</sup>
Apariencia	Polvo blanquecino
Punto de fusión	269–271 °C (516–520 °F; 542–544 K) (se descompone)
Estructura	Estructura cristalina cúbica

  
Q.C. Incharge

**BIOLAB DEL PERU**  
Elaborado en Argentina

## ANEXO 6. Informes de ensayo de laboratorio



INFORME DE ENSAYOS N° 7593 - 2023

PÁGINA 1 DE 2

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : SUELO  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Tierra color café oscuro.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ninguno  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 753 g aprox. Compuesta por 03 bolsas PET de 251 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa PET transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 22.3°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 2287-2023  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 04/12/2023

### CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por: GG

Página 1 de 2

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

**INFORME DE ENSAYOS N° 7593 - 2023**  
**PÁGINA 2 DE 2**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO	
		Suelo blanco	UNIDADES
FQ	Elemento As	29.89	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	851.71	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	98.57	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO	
		B11 Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	15.83	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	620.84	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	64.60	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO	
		B11 Festuco Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	1.36	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	571.33	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	45.28	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 04/12/2023 al 13/12/2023  
**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 14/12/2023

  
**Bigo. Miguel Valdivia Martinez**  
 Gerente Técnico

Fin del Informe

**INFORME DE ENSAYOS N° 0559 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 4**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : TALLO  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Tallo.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 336 g aprox. Compuesta por 06 bolsas de 56 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0559 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B23 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.46	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	9.96	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	0.50	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B23 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.38	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	8.67	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	1.06	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B13 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	1.05	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	33.52	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	5.09	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**INFORME DE ENSAYOS N° 0559 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B13 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	1.88	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	74.65	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	11.76	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B21 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	1.62	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	92.57	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	60.46	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	TALLO	
		Muestra: B22 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.99	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	38.06	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	24.99	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd

: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb

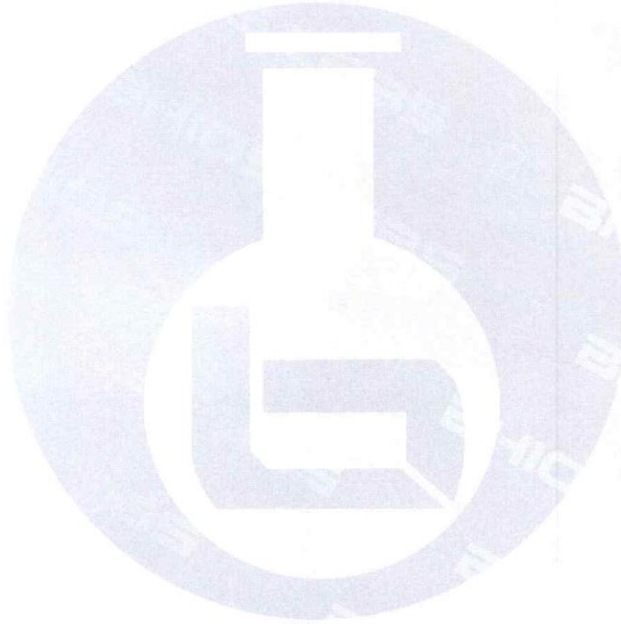
: BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**INFORME DE ENSAYOS N° 0559 - 2024**  
**PÁGINA 4 DE 4**

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 09/02/2024  
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024

  
**Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe



**INFORME DE ENSAYOS N° 0558 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 3**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : TALLO  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Tallo.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 92 g aprox. Compuesta por 02 bolsas de 46 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0558 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 3**

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	TALLO		UNIDADES
				Muestra: B12 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		0.68948	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		437.20	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		3.4712	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		4.305	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		5.9927	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.03818	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0112	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		1526.82	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		5.60485	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		3.24042	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		0.30469	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		2.19385	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		0.38816	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		15.160	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		534.14	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		1.0144	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		5367.64	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		1.46506	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		1146.89	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		60.002	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.1273	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		262.77	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		1.1716	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		698.09	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		54.013	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.1160	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.0599	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		178.17	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000		0.1834	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		16.8965	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		9.2829	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.01198	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.10256	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		1.3213	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		69.510	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2.2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**INFORME DE ENSAYOS N° 0558 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 3**

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	TALLO	UNIDADES
				Muestra: B12 / Festuca Dolichophylla	
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000	1.57822	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10	963.76	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000	3.06527	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500	6.662	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100	16.4703	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000	0.09116	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000	0.0175	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00	2103.27	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000	5.70630	mg/Kg
FQ	Ce (Cesio)	<0.05000	<0.25000	7.50497	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000	0.66924	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000	7.02287	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000	0.96551	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250	31.512	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50	1097.43	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000	3.2257	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05	3318.60	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000	2.18259	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00	873.91	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000	114.827	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000	0.3331	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50	250.69	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000	3.6026	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50	710.44	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500	83.009	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000	0.2367	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000	0.1315	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5	344.92	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000	0.1183	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000	21.8610	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500	22.0056	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000	0.01622	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000	0.16696	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500	2.7830	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200	297.850	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 08/02/2024

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024



**Migo, Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

**INFORME DE ENSAYOS N° 0557 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 3**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : SUELO  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Tierra color café oscuro.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 1758 g aprox. Compuesta por 06 bolsas de 293 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0557 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 3**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO		UNIDADES
		Muestra: B12 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Elemento As		11.03	mg/Kg
FQ	Elemento Pb		196.69	mg/Kg
FQ	Elemento Cd		21.98	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO		UNIDADES
		Muestra: B23 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Elemento As		11.36	mg/Kg
FQ	Elemento Pb		196.74	mg/Kg
FQ	Elemento Cd		21.61	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO		UNIDADES
		Muestra: B22 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Elemento As		10.65	mg/Kg
FQ	Elemento Pb		215.06	mg/Kg
FQ	Elemento Cd		32.79	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO		UNIDADES
		Muestra: B13 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Elemento As		17.58	mg/Kg
FQ	Elemento Pb		220.35	mg/Kg
FQ	Elemento Cd		6.95	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0557 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 3**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO	
		Muestra: B12 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	17.15	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	336.91	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	35.59	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	SUELO	
		Muestra: B23 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	11.33	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	265.16	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	37.83	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

MÉTODOS UTILIZADOS :  
Elemento As : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Cd : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.  
Elemento Pb : Environmental Protection Agency. Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. Revision 1996.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 09/02/2024  
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024



**Migo. Miguel Valdía Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

**INFORME DE ENSAYOS N° 0556 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 3**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : SUELO  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Tierra color café oscuro.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 538 g aprox. Compuesta por 02 bolsas de 269 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0556 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 3**

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	SUELO		UNIDADES
				Muestra: B13 / Festuca Dolichophylla		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		8.73727	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		4235.34	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		13.32202	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		8.561	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		70.786	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.47608	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0557	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		4430.93	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		23.44289	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		30.85014	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		3.47945	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		5.52230	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		4.27502	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		128.278	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		5798.63	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		11.3640	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		1330.11	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		8.37881	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		2312.21	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		545.131	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.3828	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		284.68	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		5.2968	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		1114.34	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		276.533	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.3828	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.6195	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		496.27	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000		0.1949	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		39.3814	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		55.4249	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.05568	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.29164	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		13.4403	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		634.362	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS

: Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	SUELO		UNIDADES
				Muestra: B21 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		8.46512	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		4340.06	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		12.88788	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		7.315	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		70.988	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.43382	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0445	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		4232.56	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		44.70016	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		32.81413	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		3.39864	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		5.12945	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		4.49209	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		140.195	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		5338.09	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		10.7182	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		1182.50	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		9.00835	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		2380.90	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		545.577	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.3880	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		361.30	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		4.5226	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		1042.56	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		268.558	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.4262	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.5979	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		447.81	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000		0.1781	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		38.1592	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		46.4221	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.05152	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.26525	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		12.3084	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		462.185	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 01/02/2024 al 08/02/2024

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 09/02/2024



**Bjgo. Miguel Valdivia Martinez**  
**Gerente Técnico**

Fin del Informe

**INFORME DE ENSAYOS N° 0555 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 4**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : RAÍZ  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Raíz.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 402 g aprox. Compuesta por 06 bolsas de 67 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0555 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B21 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	3.44	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	109.11	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	13.22	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B13 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	9.77	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	211.57	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	40.84	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B22 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	4.07	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	115.76	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	52.41	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**INFORME DE ENSAYOS N° 0555 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B12 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	6.63	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	200.61	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	27.06	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B23 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	3.57	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	117.47	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	32.87	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	RAÍZ	
		Muestra: B12 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	4.19	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	105.87	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	22.56	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**INFORME DE ENSAYOS N° 0555 - 2024**

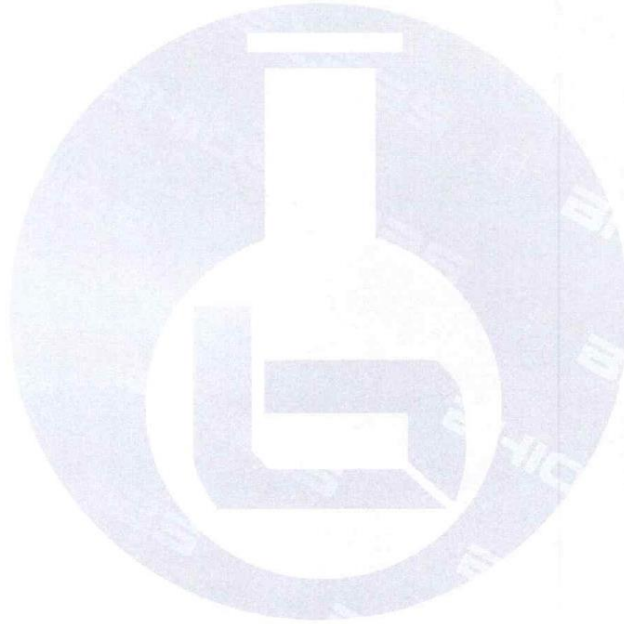
**PÁGINA 4 DE 4**

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 09/02/2024  
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024



*[Signature]*  
**Blgo. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe



**INFORME DE ENSAYOS N° 0554 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 3**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : RAÍZ  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Raíz.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 122 g aprox. Compuesta por 02 bolsas de 61 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	RAÍZ		UNIDADES
				Muestra: B23 / Pennisetum Clandestinum		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		3.14719	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		1300.51	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		4.67349	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		9.375	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		23.4850	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.11992	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0330	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		3777.83	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		43.91961	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		7.05326	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		0.86604	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		4.91672	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		1.40660	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		43.128	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		1490.38	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		5.1209	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		4992.20	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		2.90827	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		1937.11	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		117.657	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.3511	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		754.43	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		2.8828	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		773.25	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		173.437	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.3500	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.1479	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		363.81	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000		0.1648	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		41.1558	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		30.9646	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.07867	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.25513	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		3.8164	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		144.366	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS

: Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**INFORME DE ENSAYOS N° 0554 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 3**

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	RAÍZ		UNIDADES
				Muestra: B13 / Festuca Dolichophylla		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		4.01956	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		3060.66	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		7.40980	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		8.896	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		50.023	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.27593	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0363	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		3973.17	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		28.83079	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		16.77493	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		2.39705	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		7.16252	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		2.73309	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		65.312	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		3854.57	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		6.1187	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		2639.50	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		5.57793	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		1863.75	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		285.694	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.6051	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		574.86	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		5.0950	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		908.07	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		126.388	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.2420	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.3469	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		325.95	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000		0.1210	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		35.5362	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		51.475	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.05285	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.26544	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		10.7024	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		230.790	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS :** FQ 01/02/2024 al 08/02/2024

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS :** 09/02/2024



**Bigo. Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

Fin del Informe

**INFORME DE ENSAYOS N° 0553 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 4**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : HOJAS  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Hojas.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 258 g aprox. Compuesta por 06 bolsas de 43 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0553 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B12 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.44	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	8.35	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	2.98	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B13 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.43	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	24.72	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	11.41	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B23 / Festuca Dolichophylla	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.36	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	9.42	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	1.64	mg/Kg

ABREVIATURAS :  
mg/Kg

: Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**INFORME DE ENSAYOS N° 0553 - 2024**  
**PÁGINA 3 DE 4**

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B13 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.43	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	11.48	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	2.13	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B23 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.35	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	2.68	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	0.33	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**RESULTADOS**

LAB	DETERMINACIÓN	HOJAS	
		Muestra: B22 / Pennisetum Clandestinum	UNIDADES
FQ	Elemento As	0.41	mg/Kg
FQ	Elemento Pb	6.89	mg/Kg
FQ	Elemento Cd	0.54	mg/Kg

**ABREVIATURAS :**  
mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**  
Elemento As : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Cd : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011  
Elemento Pb : BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

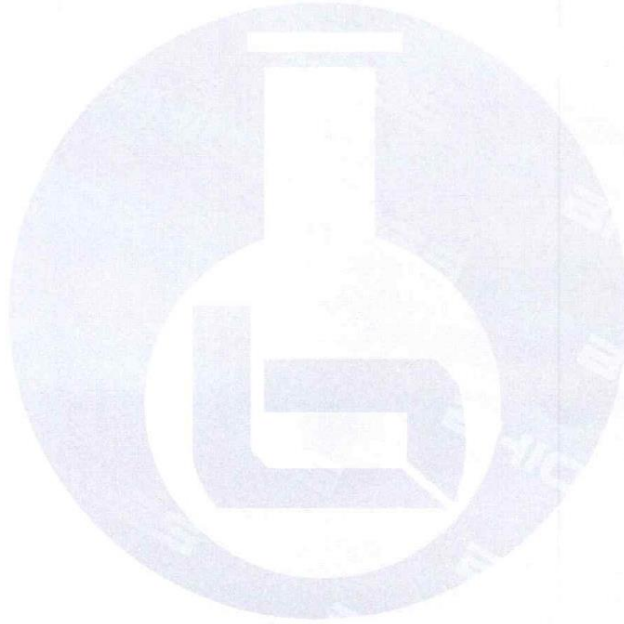
**INFORME DE ENSAYOS N° 0553 - 2024**

**PÁGINA 4 DE 4**

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 09/02/2024  
FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024

  
Bigo: Miguel Valdivia Martínez  
Gerente Técnico

Fin del Informe



**INFORME DE ENSAYOS N° 0552 - 2024**  
**PÁGINA 1 DE 3**

**SOLICITANTE** : OMAR EUSEBIO GALINDO BUSTINCIO  
**DIRECCIÓN** : AV. JULIACA CON JR. COATA S/N  
**PRODUCTO DECLARADO** : HOJA  
**DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO** : Hojas.  
**CODIFICACIÓN / MARCA** : Ver detalles de codificación en hoja de resultados.  
**DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE** : Ubicación: Juliaca.  
**TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA** : 01 muestra de 90 g aprox. Compuesta por 02 bolsas de 45 g c/u para análisis FQ.  
**PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN** : En bolsa de polietileno transparente tipo ziploc cerrada etiquetada. En contenedor isotérmico a una temperatura de 20.2°C  
**CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA** : Recibida en el Laboratorio  
**CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA** : Ninguna (por ser muestra única)  
**FECHA PRODUCCIÓN** : No especificada  
**FECHA DE VENCIMIENTO** : No especificada  
**CONTRATO N°** : 0222-2024  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 01/02/2024

**CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.
- Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

**INFORME DE ENSAYOS N° 0552 - 2024**  
**PÁGINA 2 DE 3**

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	HOJA	UNIDADES
				Muestra: B21 / Pennisetum Clandestinum	
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000	0.03139	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10	16.26	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000	0.31657	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500	3.933	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100	0.9380	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000	0.00303	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000	0.0076	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00	1095.32	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000	0.71559	mg/Kg
FQ	Ce (Cerío)	<0.05000	<0.25000	0.08661	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000	0.02534	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000	0.21672	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000	0.02950	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250	1.626	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50	36.082	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000	0.0681	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05	8115.09	mg/Kg
FQ	Lj (Litio)	<0.01000	<0.05000	1.04729	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00	1053.34	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.20000	<1.00000	13.5894	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000	0.0643	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50	251.14	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000	0.1853	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50	762.87	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500	2.7307	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000	0.0265	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000	0.0113	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5	130.86	mg/Kg
FQ	Sn (Estaño)	<0.1000	<0.5000	0.0567	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000	11.4553	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500	0.6997	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000	0.00416	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000	0.03782	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500	0.0643	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200	8.434	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

**Metales Totales por ICP-MS**

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	HOJA		UNIDADES
				Muestra: B12 / Festuca Dolichophylla		
FQ	Ag (Plata)	<0.08000	<0.20000		0.02367	mg/Kg
FQ	Al (Aluminio)	<0.03	<0.10		56.92	mg/Kg
FQ	As (Arsénico)	<0.01000	<0.05000		0.19104	mg/Kg
FQ	B (Boro)	<0.100	<0.500		3.269	mg/Kg
FQ	Ba (Bario)	<0.030	<0.100		2.4627	mg/Kg
FQ	Be (Berilio)	<0.20000	<1.00000		0.00507	mg/Kg
FQ	Bi (Bismuto)	<0.1000	<0.5000		0.0113	mg/Kg
FQ	Ca (Calcio)	<0.20	<1.00		832.37	mg/Kg
FQ	Cd (Cadmio)	<0.01000	<0.05000		1.65516	mg/Kg
FQ	Ce (Cerio)	<0.05000	<0.25000		0.21471	mg/Kg
FQ	Co (Cobalto)	<0.05000	<0.25000		0.05579	mg/Kg
FQ	Cr (Cromo)	<0.01000	<0.05000		0.58919	mg/Kg
FQ	Cs (Cesio)	<0.01000	<0.05000		0.05466	mg/Kg
FQ	Cu (Cobre)	<0.050	<0.250		2.592	mg/Kg
FQ	Fe (Hierro)	<0.30	<1.50		84.477	mg/Kg
FQ	Hg (Mercurio)	<0.01000	<0.05000		0.0820	mg/Kg
FQ	K (Potasio)	<0.01	<0.05		6326.45	mg/Kg
FQ	Li (Litio)	<0.01000	<0.05000		0.19724	mg/Kg
FQ	Mg (Magnesio)	<0.20	<1.00		432.25	mg/Kg
FQ	Mn (Manganeso)	<0.2000	<1.0000		24.7456	mg/Kg
FQ	Mo (Molibdeno)	<0.1000	<0.5000		0.3100	mg/Kg
FQ	Na (Sodio)	<0.01	<0.50		85.66	mg/Kg
FQ	Ni (Niquel)	<0.1000	<0.5000		0.8341	mg/Kg
FQ	P (Fosforo)	<0.10	<0.50		875.76	mg/Kg
FQ	Pb (Plomo)	<0.0100	<0.0500		1.9612	mg/Kg
FQ	Sb (Antimonio)	<0.1000	<0.5000		0.0282	mg/Kg
FQ	Se (Selenio)	<0.1000	<0.5000		0.0113	mg/Kg
FQ	Si (Silicio)	<0.1	<0.5		259.23	mg/Kg
FQ	Sn (Estañio)	<0.1000	<0.5000		0.0564	mg/Kg
FQ	Sr (Estroncio)	<0.1000	<0.5000		8.2842	mg/Kg
FQ	Ti (Titanio)	<0.0500	<0.2500		2.1866	mg/Kg
FQ	Tl (Talio)	<0.05000	<0.25000		0.00394	mg/Kg
FQ	U (Uranio)	<0.05000	<0.25000		0.01296	mg/Kg
FQ	V (Vanadio)	<0.0500	<0.2500		0.1634	mg/Kg
FQ	Zn (Zinc)	<0.080	<0.200		15.723	mg/Kg

**ABREVIATURAS:**

mg/Kg : Miligramos por kilogramo

**MÉTODOS UTILIZADOS :**

Metales Totales por ICP-MS : Digestion + EPA METHOD 6020 B, Rev. 2 2014 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 01/02/2024 al 08/02/2024

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 09/02/2024



Bigo, Miguel Valdivia Martínez  
Gerente Técnico

Fin del Informe

UNW

UWU