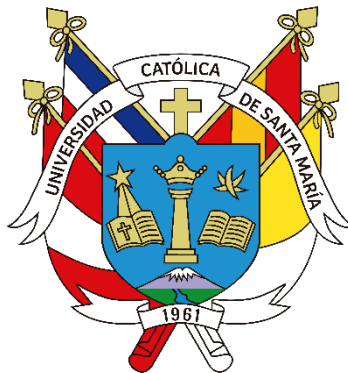


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Evaluación de la fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y
Helianthus annuus L. para la potencial restauración de suelos contaminados por
metales pesados en el Parque Industrial Río Seco**

Tesis presentada por las Bachilleres:

Alarcon Perez, Angela Michell

ORCID: 0009-0001-6326-1465

Rodriguez Cornejo, Patricia Milagros

ORCID: 0009-0001-3677-6498

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor:

Mg. Tejada Meza, Kevin

ORCID: 0000-0002-9716-7821

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 01 de Diciembre del 2024

Dictamen: 011620-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 011620, presentado por:

2016801612 - RODRIGUEZ CORNEJO PATRICIA MILAGROS

2016200082 - ALARCON PEREZ ANGELA MICHELL

Titulado:

**EVALUACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN ASISTIDA POR BACTERIAS AUTÓCTONAS Y
HELIANTHUS ANNUUS L. PARA LA POTENCIAL RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
POR METALES PESADOS EN EL PARQUE INDUSTRIAL RÍO SECO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**43297964 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



Evaluación de la fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y *Helianthus annuus* L. para la potencial restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Río Seco

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	bibliotecadigital.ccb.org.co Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

A mis padres, Julia y Fernando, por su amor incondicional e increíble apoyo en mi jornada universitaria.

A mis abuelos, por darme valores desde su enseñanza con amor, en especial a mis papás Benedicto y Gerónimo, ya nos volveremos a encontrar, mientras tanto espero que este pequeño logro pueda llegar al cielo allá junto a ustedes.

A mi hermana Ana, mi persona favorita, por ser mi ejemplo e inspiración para ser mejor siempre.

Y a mis queridos amigos, Sebastián, Adamary, Ademir, Gabriela y Patricia, por ser un constante apoyo a pesar de la distancia, los llevo siempre conmigo

Angela Alarcón Pérez

A mis padres, Patricia y Edmundo, quienes son mis pilares fundamentales y mi mayor fortaleza a lo largo de este camino.

A mi hermana Angie, cuya presencia es una inspiración constante para ser mejor cada día.

A mis abuelos, Silverio y Josefa, por enseñarme desde pequeña a respetar la naturaleza e inculcar en mí, el amor a mi carrera.

A mis amigos, Sebastián, Gregory, Juvitza, Diana, Lesly y Angela por estar siempre presentes con su apoyo incondicional, palabras de ánimo y comprensión en los momentos más necesarios.

A Teodoro y Dalila, mis mascotas que estuvieron a mi lado en noches interminables de estudio

Patricia Rodríguez Cornejo

Agradecimiento

A Dios, por permitirnos llegar a este momento y colocar a las personas correctas en nuestro camino.

A la Universidad Católica de Santa María, por inculcar mediante su enseñanza valores que nos han convertido en buenos profesionales.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Mg. Kevin Tejada, y al Dr. Juan Ramírez, por su guía, paciencia y disposición para brindarnos sus conocimientos y apoyo, los cuales fueron fundamentales para el éxito y la realización del presente trabajo de investigación.

A nuestras familias, por sus palabras de aliento, apoyo incondicional y buenos deseos, gracias por aplaudir cada paso que hemos dado a lo largo de nuestra carrera.

Y extendemos nuestra gratitud a los encargados de laboratorios del pabellón H, Ing. Aleida, Ing. César y la Ing. Marcia, quienes nos brindaron su apoyo, paciencia y conocimientos para avanzar a lo largo de este proceso.

RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados, especialmente en áreas industriales como el Parque Industrial Río Seco, representa un grave problema ambiental que afecta la salud del ecosistema y la calidad de vida de las comunidades cercanas. Este estudio evalúa la fitorremediación de *Helianthus annuus L.* en asociación con *Pseudomonas spp.* para la remoción de metales pesados (Pb y Cr) en suelos contaminados. Se realizó un análisis inicial de las características del suelo, revelando concentraciones de Pb y Cr de 150 mg/kg y 80 mg/kg, respectivamente. A través de un diseño experimental, se seleccionaron *Pseudomonas spp.* con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados, y se evaluó su interacción con *Helianthus annuus L.* durante un periodo de 70 días.

Los resultados mostraron una remoción total de metales pesados del 75% para Pb y del 60% para Cr en los suelos tratados con la combinación de *Pseudomonas spp.* y *Helianthus annuus L.*, en comparación con un 20% y 15% en los controles sin tratamiento. Además, se observó un aumento significativo en la actividad enzimática, con un incremento del 50% en la peroxidasa y del 40% en la ascorbato peroxidasa en los tejidos vegetales tratados. Estos hallazgos sugieren que la fitorremediación, combinada con el uso de *Pseudomonas spp.* es una estrategia efectiva para la remoción de metales pesados en suelos. Se concluye además que esta metodología no solo mejora la calidad del suelo, sino que también promueve el uso sostenible de recursos vegetales en la recuperación de ecosistemas degradados.

Palabras clave: *Pseudomonas spp.*, fitorremediación, *Helianthus annuus L.*

ABSTRACT

Soil contamination by heavy metals, especially in industrial areas such as Parque Industrial Río Seco, represents a serious environmental problem that affects the health of the ecosystem and the quality of life of nearby communities. This study evaluates the phytoremediation of *Helianthus annuus L.* in association with *Pseudomonas spp.* for the removal of heavy metals (Pb and Cr) in contaminated soils. An initial analysis of the soil characteristics was performed, revealing concentrations of Pb and Cr of 150 mg/kg and 80 mg/kg, respectively. Through an experimental design, *Pseudomonas spp.* with the capacity to tolerate and accumulate heavy metals were selected, and their interaction with *Helianthus annuus L.* was evaluated over a period of 70 days.

The results showed a total removal of heavy metals of 75% for Pb and 60% for Cr in soils treated with the combination of *Pseudomonas spp.* and *Helianthus annuus L.*, compared to 20% and 15% in untreated controls. In addition, a significant increase in enzyme activity was observed, with a 50% increase in peroxidase and 40% in ascorbate peroxidase in treated plant tissues. These findings suggest that phytoremediation, combined with the use of *Pseudomonas spp.* is an effective strategy for the removal of heavy metals in soils. It is also concluded that this methodology not only improves soil quality but also promotes the sustainable use of plant resources in the recovery of degraded ecosystems.

Keywords: *Pseudomona spp.*, phytoremediation, *Helianthus annuus L.*

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA2

1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA3

1.1. Problemática de la investigación.....3

1.2. Justificación de la investigación.....5

1.2.1. Justificación ambiental.....5

1.2.2. Justificación social.....6

1.2.3. Justificación económica.....8

1.2.4. Justificación tecnológica.....8

1.3. Hipótesis de la investigación.....8

1.4. Objetivos de la investigación.....9

1.4.1. Objetivo General.....9

1.4.2. Objetivos Específicos.....9

1.5. Diseño de la investigación.....9

1.5.1. Variables.....10

1.5.2. Operacionalización de las variables.....11

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO16

2.FUNDAMENTO TEÓRICO17

2.1. Estado del Arte17

2.1.1. Internacional.....17

2.1.2. Nacional27

2.1.3. Local.....	32
2.2. Marco Teórico	33
2.2.1. Suelo.....	33
2.2.1.1. Fuentes de contaminación del suelo por metales pesados	35
2.2.1.2. Factores que modifican la biodisponibilidad de metales pesados	36
2.2.1.3. Bacterias autóctonas del suelo	37
2.2.1.4. Industria.....	38
2.2.1.5. Límites Máximos Permisibles (LMPs)	38
2.2.1.6. Estándares de Calidad Ambiental- ECA	40
2.2.1.7. Cromo.....	43
2.2.1.8. Plomo.....	43
2.2.2. Biorremediación	44
2.2.3. Fitorremediación	44
2.2.4. Especie de estudio con potencial fitorremediador	48
2.2.4.1. Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>).....	48
2.2.5. Interacción bacteria - planta.....	55
2.2.5.1. Mecanismos Bioquímicos para transformar o acumular iones metálicos.....	59
2.2.5.2. Mecanismo de precipitación química extracelular	60
2.2.5.3. Factores climáticos influyentes en la fitorremediación con <i>Pseudomona spp</i>	61
2.2.5.4. Asociaciones bacteria- hongos como potenciadores de la Fitorremediación.....	62
2.2.5.5. Microorganismos autóctonos y fitorremediación.....	64
2.2.6. Disposición de productos finales.....	65

2.3. Marco Legal.....	65
2.3.1. Marco Legal Nacional	65
2.3.2. Estándares internacionales de contenidos máximos permisibles.....	66
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	68
3. METODOLOGÍA	69
3.1. Tipo y nivel de investigación	69
3.2. Diseño experimental	69
3.2.1. Prueba de normalidad Shapiro - Wilk	71
3.2.2. Prueba de Homocedasticidad.....	71
3.2.3. Análisis ANOVA y aplicación de Prueba Tukey	71
3.3. Método de la investigación	74
3.3.1. Área de estudio	74
3.3.2. Materiales y Equipos.....	79
3.3.3. Métodos Analíticos	81
3.3.3.1. Determinar el estado del suelo y concentración inicial de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	82
3.3.3.1.1. Análisis de pH inicial en suelo	82
3.3.3.1.2. Determinación de conductividad eléctrica.....	83
3.3.3.1.3. Observación de color de suelo	84
3.3.3.1.4. Análisis de textura de suelo	85
3.3.3.1.5. Análisis de plomo y cromo inicial en suelo	87
3.3.3.2. Seleccionar bacterias autóctonas y germoplasma vegetal con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	87
3.3.3.2.1. Aislamiento e identificación de bacterias autóctonas	87

3.3.3.2.2. Selección de germoplasma de la especie vegetal <i>Helianthus annuus</i> <i>L.</i>	90
3.3.3.3. Evaluar la fitorremediación conjunta de bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus L.</i> en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	95
3.3.3.3.1. Monitoreo periódico de la asociación de bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus L.</i>	95
3.3.3.3.2. Análisis de Plomo y Cromo en tejidos vegetales.....	97
3.3.3.3.3. Análisis de Plomo y Cromo en suelo.....	97
3.3.3.3.4. Análisis de pH final en suelo.....	97
3.3.3.3.5. Análisis de conductividad eléctrica final en suelo.....	97
3.3.3.3.6. Análisis de clorofila total y contenido de carotenoides.....	98
3.3.3.3.7. Análisis de contenido relativo de agua.....	100
3.3.3.3.8. Evaluación de la actividad enzimática.....	101
3.3.3.4. Determinar el porcentaje de remoción total de metales pesados en suelo y el factor de bioacumulación total de metales pesados en tejidos vegetales de <i>Helianthus annuus L.</i>	105
3.3.3.4.1. Cálculo del Factor de Bioconcentración total (FBCT) y Porcentaje de remoción de metales.....	105
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	108
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	109
4.1. Determinación del estado del suelo y concentración inicial de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	109
4.1.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica en suelo.....	109
4.1.2. Observación de color de suelos.....	114
4.1.3. Análisis de textura de suelos.....	115

4.1.4.	Análisis de concentración de metales en suelo.....	121
4.2.	Selección de bacterias autóctonas y germoplasma vegetal con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	125
4.2.1.	Aislamiento e identificación de bacterias autóctonas.....	125
4.3.	Evaluación de la fitorremediación conjunta de bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus L.</i> en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.....	131
4.3.1.	Monitoreo periódico de la asociación de bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus L.</i>	131
4.3.1.1.	Crecimiento vegetal.....	132
4.3.2.	Estado y crecimiento foliar por tratamiento.....	137
4.3.3.	Crecimiento de raíz por tratamiento.....	139
4.3.4.	Análisis de pigmentos fotosintéticos por tratamiento.....	141
4.3.5.	Análisis de contenido relativo de agua.....	144
4.3.6.	Evaluación de la actividad enzimática.....	147
4.4.	Determinar el porcentaje de remoción total de metales pesados en suelo y el factor de bioacumulación total de metales pesados en tejidos vegetales de <i>Helianthus annuus L.</i>	150
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		154
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		155
5.1.	Conclusiones.....	155
5.2.	Recomendaciones.....	157
5.3.	Referencias Bibliográficas.....	158

ANEXOS.....	208
ANEXO 1. Registros de observación y crecimiento vegetal.....	209
ANEXO 2. Valores de referencia internacionales de concentraciones de metales.....	213
ANEXO 3. Análisis iniciales de metales en Parque Industrial Río Seco.....	217
ANEXO 4. Análisis finales de concentración de metales por Tratamiento.....	224
ANEXO 5. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para pH.....	236
ANEXO 6. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Conductividad Eléctrica.....	244
ANEXO 7. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Longitud del tallo.....	252
ANEXO 8. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Estado y crecimiento foliar.....	260
ANEXO 9. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Crecimiento de raíz.....	308
ANEXO 10. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Pigmentos fotosintéticos.....	316
ANEXO 11. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Contenido Relativo de Agua.....	346
ANEXO 12. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para Actividad enzimática.....	354
ANEXO 13. Pruebas de Normalidad, Homocedasticidad y Tukey para cada Factor de Bioconcentración total (FBCT)	388

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Identificación y análisis de variables	11
Tabla 2 Tabla resumen de adquisición de datos por variable	14
Tabla 3 Límite máximo permisible de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre.	39
Tabla 4 Componentes regulados por los ECA.....	40
Tabla 5 Estándares de Calidad ambiental para suelo	41
Tabla 6 Bacterias predominantes en suelos contaminados.....	58
Tabla 7 Relación de hipótesis	73
Tabla 8 Descripción de Ventajas y Desventajas del método.....	73
Tabla 9 Ubicación del área de estudio.....	74
Tabla 10 Relación de materiales, equipos, herramientas y material biológico de la investigación.....	79
Tabla 11 Tipos de suelo y texturas según la clasificación americana.....	86
Tabla 12 Código y descripción de experimentación	90
Tabla 13 Relación de tratamientos y codificación	90
Tabla 14 Valores de pH y conductividad eléctrica (C.E) de muestra representativa.....	109
Tabla 15 Valores de pH y conductividad eléctrica (C.E) por tratamiento	110
Tabla 16 Valores de color de suelo	114
Tabla 17 Valores de textura suelo del Parque Industrial Río Seco (PIRS)	116
Tabla 18 Valores de textura por tratamientos	118
Tabla 19 Resultados de concentración de metales totales en suelo analizados por espectrofotometría de absorción atómica	121

Tabla 20 Resultados de Pruebas bioquímicas para identificación bacteriana	125
Tabla 21 Conteo en cámara de Neubauer y valores de Absorbancia.....	128
Tabla 22 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de pH....	237
Tabla 23 Pruebas de pH.....	237
Tabla 24 Información del factor de pH.....	238
Tabla 25 Análisis de Varianza de pH.....	238
Tabla 26 Resumen del modelo de pH.....	239
Tabla 27 Medias de pH.....	239
Tabla 28 Comparaciones en parejas de Tukey de pH.....	240
Tabla 29 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de pH.....	241
Tabla 30 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de conductividad eléctrica.....	245
Tabla 31 Pruebas de conductividad eléctrica.....	245
Tabla 32 Información del factor de conductividad eléctrica.....	246
Tabla 33 Análisis de Varianza de conductividad eléctrica.....	246
Tabla 34 Resumen del modelo de conductividad eléctrica.....	247
Tabla 35 Medias de conductividad eléctrica.....	247
Tabla 36 Comparaciones en parejas de Tukey de conductividad eléctrica	248
Tabla 37 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de conductividad eléctrica.....	249
Tabla 38 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de longitud del tallo.....	253
Tabla 39 Pruebas de longitud del tallo.....	253

Tabla 40 Información del factor de longitud del tallo.....	254
Tabla 41 Análisis de Varianza de longitud del tallo.....	254
Tabla 42 Resumen del modelo de longitud del tallo.....	255
Tabla 43 Medias de longitud del tallo.....	255
Tabla 44 Comparaciones en parejas de Tukey de longitud del tallo.....	256
Tabla 45 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de longitud del tallo.....	257
Tabla 46 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de hojas sanas.....	261
Tabla 47 Pruebas de hojas sanas.....	261
Tabla 48 Información del factor de hojas sanas.....	262
Tabla 49 Análisis de Varianza de hojas sanas.....	262
Tabla 50 Resumen del modelo de hojas sanas.....	263
Tabla 51 Medias de hojas sanas.....	263
Tabla 52 Comparaciones en parejas de Tukey de hojas sanas.....	264
Tabla 53 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de hojas sanas.....	265
Tabla 54 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de hojas enfermas.....	269
Tabla 55 Pruebas de hojas enfermas.....	269
Tabla 56 Información del factor de hojas enfermas.....	270
Tabla 57 Análisis de Varianza de hojas enfermas.....	270

Tabla 58 Resumen del modelo de hojas enfermas.....	271
Tabla 59 Medias de hojas enfermas.....	271
Tabla 60 Comparaciones en parejas de Tukey de hojas enfermas.....	272
Tabla 61 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de hojas enfermas.....	273
Tabla 62 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de hojas muertas.....	277
Tabla 63 Pruebas de hojas muertas.....	277
Tabla 64 Información del factor de hojas muertas.....	278
Tabla 65 Análisis de Varianza de hojas muertas.....	278
Tabla 66 Resumen del modelo de hojas muertas.....	279
Tabla 67 Medias de hojas muertas.....	279
Tabla 68 Comparaciones en parejas de Tukey de hojas muertas.....	280
Tabla 69 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de hojas muertas.....	281
Tabla 70 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de hojas totales.....	285
Tabla 71 Pruebas de hojas totales.....	285
Tabla 72 Información del factor de hojas totales.....	286
Tabla 73 Análisis de Varianza de hojas totales.....	286
Tabla 74 Resumen del modelo de hojas totales.....	287
Tabla 75 Medias de hojas totales.....	287

Tabla 76 Comparaciones en parejas de Tukey de hojas totales.....	288
Tabla 77 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de hojas totales.....	289
Tabla 78 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de largo de hojas.....	293
Tabla 79 Pruebas de largo de hojas.....	293
Tabla 80 Información del factor de largo de hojas.....	294
Tabla 81 Análisis de Varianza de largo de hojas.....	294
Tabla 82 Resumen del modelo de largo de hojas.....	294
Tabla 83 Medias de largo de hojas.....	295
Tabla 84 Comparaciones en parejas de Tukey de largo de hojas.....	296
Tabla 85 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de largo de hojas.....	297
Tabla 86 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de ancho de hojas.....	301
Tabla 87 Pruebas de ancho de hojas.....	301
Tabla 88 Información del factor de ancho de hojas.....	302
Tabla 89 Análisis de Varianza de ancho de hojas.....	302
Tabla 90 Resumen del modelo de ancho de hojas.....	303
Tabla 91 Medias de ancho de hojas.....	303
Tabla 92 Comparaciones en parejas de Tukey de ancho de hojas.....	304

Tabla 93 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de ancho de hojas.....	305
Tabla 94 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de .crecimiento de raíz.....	309
Tabla 95 Pruebas de crecimiento de raíz.....	309
Tabla 96 Información del factor de crecimiento de raíz.....	310
Tabla 97 Análisis de Varianza de crecimiento de raíz.....	310
Tabla 98 Resumen del modelo de crecimiento de raíz.....	311
Tabla 99 Medias de crecimiento de raíz.....	311
Tabla 100 Comparaciones en parejas de Tukey de crecimiento de raíz.....	312
Tabla 101 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de crecimiento de raíz.....	313
Tabla 102 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de clorofila A.....	317
Tabla 103 Pruebas de clorofila A.....	317
Tabla 104 Información del factor de clorofila A.....	318
Tabla 105 Análisis de Varianza de clorofila A.....	318
Tabla 106 Resumen del modelo de clorofila A.....	319
Tabla 107 Medias de clorofila A.....	319
Tabla 108 Comparaciones en parejas de Tukey de clorofila A.....	320
Tabla 109 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de clorofila B.....	323
Tabla 110 Pruebas de clorofila B.....	323

Tabla 111 Información del factor de clorofila B.....	324
Tabla 112 Resumen del modelo de clorofila B.....	324
Tabla 113 Análisis de Varianza de clorofila B.....	325
Tabla 114 Medias de clorofila B.....	325
Tabla 115 Comparaciones en parejas de Tukey de clorofila B.....	326
Tabla 116 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de clorofila B.....	327
Tabla 117 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de carotenoides.....	331
Tabla 118 Pruebas de carotenoides.....	331
Tabla 119 Información del factor de carotenoides.....	332
Tabla 120 Análisis de Varianza de carotenoides.....	332
Tabla 121 Resumen del modelo de carotenoides.....	333
Tabla 122 Medias de carotenoides.....	333
Tabla 123 Comparaciones en parejas de Tukey de carotenoides.....	334
Tabla 124 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de carotenoides.....	335
Tabla 125 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de clorofila total.....	339
Tabla 126 Pruebas de clorofila total.....	339
Tabla 127 Información del factor de clorofila total.....	340
Tabla 128 Análisis de Varianza de clorofila total.....	340
Tabla 129 Resumen del modelo de clorofila total.....	340
Tabla 130 Medias de clorofila total	341
Tabla 131 Comparaciones en parejas de Tukey de clorofila total.....	342

Tabla 132 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de clorofila total.....	343
Tabla 133 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de CRA.....	347
Tabla 134 Pruebas de CRA.....	347
Tabla 135 Información del factor de CRA.....	348
Tabla 136 Análisis de Varianza de CRA.....	348
Tabla 137 Resumen del modelo de CRA.....	349
Tabla 138 Medias de CRA.....	349
Tabla 139 Comparaciones en parejas de Tukey de CRA.....	350
Tabla 140 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de CRA.....	351
Tabla 141 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de contenido de proteínas.....	355
Tabla 142 Pruebas de contenido de proteínas.....	355
Tabla 143 Información del factor de contenido de proteínas.....	356
Tabla 144 Análisis de Varianza de contenido de proteínas.....	356
Tabla 145 Resumen del modelo de contenido de proteínas.....	357
Tabla 146 Medias de contenido de proteínas.....	357
Tabla 147 Comparaciones en parejas de Tukey de contenido de proteínas	358
Tabla 148 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de contenido de proteínas.....	359
Tabla 149 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de catalasa.....	363

Tabla 150 Pruebas de catalasa	363
Tabla 151 Información del factor de catalasa.....	364
Tabla 152 Análisis de Varianza de catalasa.....	364
Tabla 153 Resumen del modelo de catalasa.....	364
Tabla 154 Medias de catalasa.....	365
Tabla 155 Comparaciones en parejas de Tukey de catalasa.....	366
Tabla 156 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de catalasa.....	367
Tabla 157 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de peroxidasa.....	371
Tabla 158 Pruebas de peroxidasa.....	372
Tabla 159 Información del factor de peroxidasa.....	372
Tabla 160 Análisis de Varianza de peroxidasa.....	373
Tabla 161 Resumen del modelo de peroxidasa.....	373
Tabla 162 Medias de peroxidasa.....	373
Tabla 163 Comparaciones en parejas de Tukey de peroxidasa.....	374
Tabla 164 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de peroxidasa.....	375
Tabla 165 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de ascorbato peroxidasa.....	379
Tabla 166 Pruebas de ascorbato peroxidasa.....	380

Tabla 167 Información del factor de ascorbato peroxidasa.....	380
Tabla 168 Análisis de Varianza de ascorbato peroxidasa.....	381
Tabla 169 Resumen del modelo de ascorbato peroxidasa.....	381
Tabla 170 Medias de ascorbato peroxidasa.....	381
Tabla 171 Comparaciones en parejas de Tukey de ascorbato peroxidasa.....	382
Tabla 172 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de ascorbato peroxidasa.....	383
Tabla 173 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de FBCT Cr.....	388
Tabla 174 Pruebas de FBCT de Cr.....	388
Tabla 175 Método de FBCT de Cr.....	389
Tabla 176 Información del factor de FBCT de Cr.....	389
Tabla 177 Análisis de Varianza de FBCT de Cr.....	389
Tabla 178 Resumen del modelo de FBCT de Cr.....	390
Tabla 179 Medias de FBCT de Cr.....	390
Tabla 180 Comparaciones en parejas de Tukey de FBCT de Cr.....	391
Tabla 181 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de FBCT de Cr.....	392
Tabla 182 Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar de FBCT Pb.....	395
Tabla 183 Pruebas de FBCT Pb.....	395
Tabla 184 Información del factor de FBCT Pb.....	396
Tabla 185 Análisis de Varianza de FBCT Pb.....	397

Tabla 186 Resumen del modelo de FBCT Pb.....	397
Tabla 187 Medias de FBCT Pb.....	397
Tabla 188 Comparaciones en parejas de Tukey de FBCT Pb.....	398
Tabla 189 Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias de FBCT Pb	398



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mecanismos utilizados por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)	46
Figura 2 Fitorremediación de ambientes contaminados con metales pesados	51
Figura 3 Sitios de producción, eliminación de ROS y zonas de activación de enzimas	54
Figura 4 Puntos de muestreo en Parque Industrial Río Seco	75
Figura 5 Delimitación del área de interés (Parque Industrial Río Seco)	76
Figura 6 Análisis de pH realizado a muestra inicial de suelo	83
Figura 7 Determinación de conductividad en suelos	84
Figura 8 Análisis de color de suelos mediante Tabla de Munsell	85
Figura 9 Análisis de textura mediante el procedimiento de tamizado	87
Figura 10 Proceso de obtención de inóculo bacteriano	89
Figura 11 Proceso de preparación de suelos y tratamientos	92
Figura 12 Ilustración del orden de los componentes por tratamiento	93
Figura 13 Distribución general de experimentación por bloques	94
Figura 14 Monitoreo de Crecimiento vegetal de <i>Helianthus annuus</i> L.	96
Figura 15 Preparación de muestras por tratamiento para análisis de pH y conductividad eléctrica	98
Figura 16 Extracción de compuestos fotosintéticos	99
Figura 17 Selección de hojas por grupo de experimentación	101
Figura 18 Extracto enzimático de muestra representativa por tratamiento y Reactivos A y B utilizados para prueba de Lowry	102
Figura 19 Preparación de muestras por tratamiento para prueba de catalasa	103
Figura 20 Análisis de peroxidasa para cada muestra por tratamiento	104

Figura 21 Análisis de ascorbato peroxidasa para cada muestra por tratamiento	105
Figura 22 Evaluación de pH final por tratamiento	111
Figura 23 Evaluación de conductividad eléctrica por tratamiento	113
Figura 24 Resultados pruebas bioquímicas	126
Figura 25 Análisis de absorbancia a 650 nm por bacteria.....	129
Figura 26 Curva de crecimiento bacteriano durante 12 horas.....	130
Figura 27 Comparación de crecimiento de raíz, tallo y hojas en individuos óptimos por tratamiento.....	132
Figura 28 Control del Crecimiento vegetal del tallo según nivel de contaminación.....	134
Figura 29 Longitud final de tallo por tratamiento.....	136
Figura 30 Características visuales de hojas por tratamiento	137
Figura 31 Desarrollo del crecimiento de raíz según nivel de contaminación	139
Figura 32 Comparación de Pigmentos fotosintéticos (Clorofila total, Clorofila a, Clorofila b y Carotenoides).....	141
Figura 33 Presencia de clorosis en hojas maduras.....	143
Figura 34 Contenido relativo de agua en <i>Helianthus annuus</i> L. por tratamiento	145
Figura 35 Análisis de concentración de proteínas y enzimas en tejidos vegetales de <i>Helianthus annuus</i> L.	147
Figura 36 Factor de Bioconcentración total y remoción de cromo y plomo en <i>Helianthus annuus L.</i>	151

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo con metales pesados constituye una problemática ambiental de relevancia global, debido a su persistencia, toxicidad y capacidad para bioacumularse en cadenas tróficas. Estas sustancias, generadas principalmente por actividades industriales, agrícolas y mineras, alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que dificulta su uso para actividades productivas y amenaza la salud de los ecosistemas y las comunidades humanas cercanas (Mendarte et al., 2021). Frente a esta situación, han surgido enfoques sostenibles como la fitorremediación asistida, que combina el potencial de las plantas y microorganismos para remover, estabilizar o transformar contaminantes en formas menos tóxicas, reduciendo su impacto ambiental y promoviendo la restauración ecológica (Delgadillo et al., 2011). En Arequipa, el sector industrial desarrollado en el Parque Industrial Río Seco genera excesivos volúmenes de efluentes ricos en metales pesados, los cuales a su paso contaminan cursos de agua y suelo (OEFA, 2017). La falta de acción entre el Gobierno Regional y otras entidades del Estado generan gran preocupación en la población debido a los impactos inminentes a los cuales se verán expuestos (Sukhjadeorao Dongre, 2021).

El monitoreo, análisis y ejecución de proyectos que mejoren la calidad del medio en la zona y que busquen remediar los efectos provocados son de vital importancia, sobre todo aquellos que involucren especies vegetales y comunidades microbianas propias del lugar.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

El suelo es considerado un sistema dinámico y natural, complejo y de carácter estructural. Representa uno de los recursos naturales primordiales debido a su amplia gama de funciones e importancia en su papel de promoción de la seguridad alimentaria, hídrica y energética mundial, así como soporte para la vida y actividad biológica y la contribución crucial en la preservación del medio ambiente como agente mitigador de la pérdida de biodiversidad y del cambio climático (Benavides et al., 2023). A lo largo de la historia, el suelo se ha convertido en un importante sumidero de contaminantes emitidos por las actividades antropogénicas. Sin embargo, al mismo tiempo, puede transformarse en fuente de contaminantes al interactuar con el agua, tanto en escorrentías como en infiltración, con el aire durante la erosión eólica, y con los seres vivos mediante la red trófica (Macheca-Pulido et al., 2015).

El constante avance del sector agrícola, el desarrollo industrial y minero con las actividades propias de cada uno trae consigo una gran generación de residuos, muchos de ellos contaminados con metales pesados como: arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y cromo (Cr). Maqueda Gálvez (2003) menciona que la presencia de estos contaminantes en el entorno, en concentraciones que superan los límites máximos permisibles pueden ser perjudiciales para el ser humano, la flora y fauna del medio, entre ellos los microorganismos que lo habitan, debido a que intervienen en los ciclos de elementos traza y al ser sensibles a las deficiencias como excesos de elementos metálicos, tienden a reducir su crecimiento y actividad enzimática (De los Santos Vázquez, 2018).

En la provincia de Arequipa, el Parque Industrial de Río Seco (PIRS) representa una fuente significativa de contaminación ambiental, siendo considerado el punto más contaminado debido a los procesos industriales que se realizan en él, principalmente la existencia de curtiembres que utilizan volúmenes considerables de agua con concentraciones elevadas de contaminantes a lo largo de sus diversas fases de producción, laboratorios farmacéuticos, industrias textiles, MYPES e industrias manufactureras.

Según OEFA (2017), estos desechos que son dispuestos en lagunas de oxidación, las cuales han colapsado en el transcurso del tiempo, generan que los efluentes que discurren por esta área sean vertidos sin tratamiento previo a los canales que se dirigen al sistema de la Quebrada de Añashuayco que desemboca finalmente en el Río Chili (Pineda Zapana, 2019), ocasionando que las partículas de plomo y cromo caracterizadas por su persistencia en el medio ambiente, alta biodisponibilidad y nula biodegradabilidad (Moreno & López, 2018), se acumulen en los suelos suponiendo un riesgo para la salud pública y demás organismos vivos por su neurotoxicidad además de promover procesos de degradación que incluyen la eutrofización de suelos y lixiviación de metales (Sukhjadorao Dongre, 2021).

Diversas investigaciones (Kogut, 2023; SEMARNAT, 2002) afirman que este tipo de desechos limitan la capacidad del suelo de albergar ecosistemas naturales o manejados, debido a que disminuyen la calidad del medio mediante la salinización, acidificación, pérdida de materia orgánica, compactación, entre otros procesos.

Una de las técnicas más utilizadas para rehabilitar áreas contaminadas con metales pesados es la fitorremediación, la cual utiliza plantas y microorganismos asociados a ellas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar

contaminantes, considerada una tecnología rentable, limpia y que funciona efectivamente para remediar ambientes industrialmente contaminados (Benjumeda Muñoz, 2017).

Se pretende que los metales en el suelo sean capturados por las raíces de las plantas y de esta manera pasen a tallos y hojas donde serán acumulados para su posterior tratamiento (Volke Sepúlveda et al., 2005). La fitorremediación puede verse mejorada por el uso de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) las cuales benefician a la planta con la emergencia de plántulas, germinación de semillas, fijación de nitrógeno, síntesis de enzimas y producción de hormonas que permiten aumentar la tolerancia en condiciones de estrés frente a niveles elevados de sales, pH, traza de metales, así como otros factores estresantes ambientales (Marrero Coto et al., 2012; Ramani et al., 2021).

Investigaciones identifican a *Helianthus annuus L.*, especie estudiada por su rápido crecimiento, adaptabilidad a la variación de temperatura, respuesta alta de biomasa radicular y potencial para absorber e hiperacumular metales pesados tales como Pb y Cr en sus raíces, tallos y hojas, además de poseer afinidad para asociarse con rizobacterias que le permitan crecer y sobrevivir en ambientes contaminados con metales, convirtiéndola en una especie idónea para fitoextraer contaminantes dentro de sus órganos y colaborar así como una solución biológica a la problemática ambiental que viene enfrentado la comunidad arequipeña (Chico et al., 2012).

1.2. Justificación de la investigación

Justificación ambiental

La implementación de *Helianthus annuus L.* para la fitorremediación en asociación con bacterias autóctonas según lo que menciona Pacheco Paredes (2023), se debe a su capacidad para adaptarse a medios extremos y su afinidad a la presencia de contaminantes

constituyendo una ventaja tanto económica como ecológica, ya que en regiones contaminadas se pueden establecer atracciones ecoturísticas preservando al mismo tiempo la belleza natural del entorno.

El uso de esta técnica biodepuradora de metales pesados utilizando cepas microbianas ha sido empleada previamente por otros investigadores con éxito, por lo tanto el aislamiento y posterior aplicación resulta altamente factible para remediar suelos contaminados con este tipo de efluentes, además tiene un impacto menos invasivo o negativo frente a otros métodos tradicionales, ya que son procesos naturales y útiles para la transformación de diversos contaminantes, y se puede recuperar el sitio sin perturbar sus actividades normales (Skladany y Metting, 1993; Cunningham y Lee, 1995).

González Chávez (2005) señaló que una forma de asegurar el éxito de la remediación, es seleccionar las especies microbianas adaptadas a las condiciones de contaminación, es decir se promueve la utilización de bacterias autóctonas del área.

La implementación de esta técnica se ve alineada con el Objetivo 15 de Desarrollo Sostenible: Vida de ecosistemas terrestres, que promueve la conservación, restauración y uso sostenible de suelos y ecosistemas (Naciones Unidas, 2018).

La fitorremediación apoya la regeneración de suelos degradados, contribuyendo a la preservación de la biodiversidad y al fortalecimiento de la resiliencia del ecosistema. Esta técnica mantiene la integridad del medio y permite la recuperación de áreas contaminadas para volverlas compatibles a actividades humanas.

Justificación social

La implementación de la fitorremediación como estrategia para la rehabilitación de suelos contaminados con metales pesados en el Parque Industrial Río Seco (PIRS)

contribuirá significativamente a mitigar los riesgos asociados a la salud pública derivados del contacto, tanto directo como indirecto, con estos contaminantes. Este enfoque resulta particularmente crucial debido al crecimiento exponencial de la población en las zonas aledañas al parque, lo que incrementa proporcionalmente la exposición a agentes tóxicos. Además, la problemática se agrava por la circulación de aguas residuales provenientes de esta área industrial, que impactan negativamente la flora y fauna en la desembocadura del Río Chili, constituyendo un peligro ambiental potencial debido a que estas aguas riegan zonas agrícolas lo cual permitiría a los metales incorporarse en la cadena alimentaria a través de la bioacumulación, representando una seria amenaza tanto para los ecosistemas como para la salud humana.

En este contexto, la fitorremediación se presenta como una solución altamente efectiva, accesible y económica para mitigar los efectos adversos de la contaminación. El uso de plantas como el girasol (*Helianthus annuus L.*), reconocidas por su capacidad para absorber y acumular metales pesados, no solo permite restaurar la calidad del suelo de manera natural, sino que también minimiza la alteración del ecosistema. Adicionalmente, esta técnica promueve una cultura de responsabilidad ambiental, incentivando la colaboración entre las industrias y la comunidad local en la protección y manejo sostenible del recurso suelo. A largo plazo, la fitorremediación se consolida como una alternativa técnica que no solo favorece la remediación ambiental, sino que también contribuye a la reducción de riesgos para la salud pública y la conservación del entorno (Muhammad et al., 2024).

Justificación económica

Las tecnologías de descontaminación de suelos basadas en la utilización de especies vegetales asociadas a rizobacterias son de bajo costo, sin necesidad de personal especializado y sin mayor consumo de energía por lo cual no generan impactos negativos sobre la integridad y funcionalidad de los suelos; evitando así generar costos agregados durante la implementación y mantenimiento del proyecto además de constituir un esfuerzo por parte de la industria del cuero por resarcir los daños y contribuir con belleza paisajística al lugar (Goicochea Trelles & García Lopez, 2023).

Justificación tecnológica

La promoción de técnicas ambientalmente responsables como la fitorremediación constituyen una nueva visión de la aplicación de tecnologías que se encuentran al alcance de la mano de pequeños grupos civiles que cuentan con bajos y medianos presupuestos en este caso PYMES de curtiembres que buscan una solución a los efectos causados por sus vertimientos de sus efluentes industriales al medio a lo largo de los años además de incentivar la investigación del uso de bacterias autóctonas como promotoras del crecimiento vegetal y reducir el estrés de especies vegetales que habitan suelos contaminados por metales pesados (Garzón et al., 2017).

1.3. Hipótesis de la investigación

Dado que existe una relación sinérgica entre bacterias autóctonas y plantas para la movilización y absorción de metales en suelos contaminados, se postula la utilización de la asociación de bacterias autóctonas (*Pseudomona spp.*) y *Helianthus annuus L.* como una alternativa de fitorremediación asistida que permitirá reducir la concentración de metales pesados en suelos a distintos niveles de contaminación (0%,5%,10%).

1.4. Objetivos de la investigación

Objetivo General

Evaluar la fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.* para la potencial restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Río Seco.

Objetivos Específicos

- Determinar el estado del suelo y concentración inicial de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.
- Seleccionar bacterias autóctonas y germoplasma vegetal con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.
- Evaluar la fitorremediación conjunta de bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.
- Determinar el porcentaje de remoción total de metales pesados en suelo y el factor de bioconcentración total de metales pesados en tejidos vegetales de *Helianthus annuus L.*

1.5. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es de carácter experimental, basado en investigaciones y estudios científicos que aportan información relevante, así como en los métodos empleados en el proyecto y la ejecución de análisis de concentraciones de metales pesados en el suelo. Se desarrolló el cultivo de girasol con la asistencia de bacterias autóctonas, las cuales fueron sometidas a diversos tratamientos con el objetivo de absorber contaminantes del suelo. Los resultados obtenidos a través de estas prácticas permitieron evaluar la efectividad de las

bacterias en la remediación del suelo y su capacidad para reducir la concentración de metales pesados en el medio (G. Arias, 2012).

Estos estímulos a sujetos o diversas unidades experimentales para observar las reacciones y registrar resultados y observaciones, establecen una relación de causa-efecto.

Variables

1.5.1.1. Variables Dependientes

- Longitud de tallo y raíz.
- Número de hojas.
- Contenido relativo de agua.
- Contenido de clorofila total y carotenoides.
- Actividad proteica y enzimática.

1.5.1.2. Variables Independientes

- Porcentaje de suelo contaminado (0%, 5% y 10%).
- Presencia y ausencia de bacterias autóctonas (bacteria A y bacteria B).

Operacionalización de las variables

Tabla 1

Identificación y análisis de variables

Tipo de variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento	Método
Independiente	Presencia y/o ausencia de bacterias autóctonas A y B.	Bacteria A Bacteria B	células	Cámara de Neubauer	Conteo visual de bacterias
	Suelo con diferentes niveles de contaminación (0%, 5% y 10%)	% suelo contaminado	%	Balanza	Gravimétrico
Dependiente	Crecimiento y desarrollo de <i>Helianthus annuus L</i>	longitud de la raíz	cm	Regla métrica	Medición, observación visual y registro
		altura del tallo		Ficha de seguimiento	
		número total de hojas		Observación visual	

	número de hojas sanas			
	número de hojas enfermas			
	número de hojas enfermas			
Biomasa	Peso fresco	mg	Balanza	Balanza
Factor de bioconcentración total (FBCT)		mg/kg	Excel	Tabla de registro
Contenido relativo de agua	Peso fresco Peso de turgencia máxima	%	Balanza	Cálculo matemático

Concentración de clorofila y carotenoides				
Concentración de proteínas				
Concentración de catalasa	Absorbancia	UA- mg/kg	Espectrofotómetro	Espectrofotometría de UV Visible Ley de Lambert-Beer
Concentración de peroxidase				
Concentración de ascorbato peroxidase				
% Remoción total de Cr y Pb en suelo	Absorbancia	UA- mg/kg	Espectrofotómetro	Ley de Lambert-Beer Digestión ácida asistida por microondas Espectrometría de masas con Plasma Acoplado Inductivamente Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Tabla 2

Tabla resumen de adquisición de datos por variable

Indicador	Instrumento	Método
Recuento celular	Cámara de Neubauer	El conteo visual en la cámara de Neubauer es una técnica que consiste en la observación de un aparato de vidrio con dos superficies reticuladas para el conteo celular, cuenta con dos columnas laterales de 0.1 mm de altura y está subdividido en 9 cuadrantes. Se cuentan todas las células que estén dentro de cada cuadrado y aquellas que toquen los lados superior- derecho de dicho cuadrado (Gomes Oliveira, 2019).
Absorbancia	Espectrofotómetro	La Espectrofotometría de absorción atómica, es una de las técnicas más empleadas para determinar el rango de $\mu\text{g/ml}$ - ng/ml de diversos elementos, su capacidad de determinación de metales se basa en la especificidad, sensibilidad y facilidad de operación. Su aplicación se extiende a aguas, muestras geológicas, metales y aleaciones, muestras e industria química y farmacéutica, y petróleo y sus subproductos. Utiliza la Ley de Lambert-Beer la cual establece una relación entre la radiación (luz) absorbida por una sustancia y su concentración (Blago, 1994).
Remoción	Minitab	Se desarrollará un análisis de varianza (ANOVA), conjunto de técnicas estadísticas que permite comparar más de dos grupos, permitiéndonos analizar simultáneamente el efecto de uno o diversos tratamientos, convirtiendo la variación en una variable de respuesta (Dagnino,2014).

	Excel	Herramienta digital que permite obtener información y manipular grandes cantidades de datos, brindando cálculos rápidos y sencillos (Microsoft, 2010).
Longitud de raíz	Regla métrica	Instrumento de medición, elaborado de distintos materiales para evitar su oxidación, se encuentra dividida milimétricamente. Su unidad de longitud es el metro (PROLACEN, 2023).
Longitud del tallo	Fichas de Seguimiento	Constituyen la sumatoria del análisis y la recopilación sistemática de información de acuerdo al avance de un proyecto, mejora la eficacia efectividad de la organización. Evalúa factores e indicadores de metas y actividades planificadas durante distintas fases (CIVICUS, 2001).
Número total de hojas	Conteo por observación visual	La observación visual es considerada la forma más sistematizada y lógica para un registro verificable y visual de todo aquello que se busca conocer, captando lo que ocurre en el mundo para describirlo, analizarlo o explicarlo (Campos y Covarrubias & Lule Martinez, 2012).
Peso fresco Peso de turgencia máxima	Balanza analítica	La balanza analítica mide la masa con precisión, posee una cámara de pesaje a prueba de corriente de aire y cuenta con alta legibilidad. Logra medir con precisión hasta 0.0001 g (Thermo Fisher Scientific, 2023).



CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

Internacional

La investigación realizada por Marques et al. (2013) evalúa los efectos de la inoculación de cepas bacterianas que son resistentes a metales, *Ralstonia eutropha* (B1) y *Chryseobacterium humi* (B2), sobre el crecimiento de *Helianthus annuus L.* en suelos con presencia de Zinc (Zn) y Cadmio (Cd). El estudio inicia con el aislamiento y caracterización de estas bacterias autóctonas, que fueron obtenidas de los sedimentos recolectados *in situ*. Para la preparación del sustrato se extrajo muestras de suelo sometidas a procesos de esterilización y secado, posteriormente enmendadas con soluciones de Cadmio (Cd) y Zinc (Zn), para mantener la humedad y promover la distribución uniforme de los metales, el sustrato fue regado con agua destilada y se mantuvo en condiciones de invernadero. Para el diseño experimental se utilizó matrices con cuatro concentraciones para cada metal de (0, 10, 20 y 30 mg de Cd kg⁻¹; 0, 100, 500 y 1000 mg de Zn kg⁻¹) y tres tratamientos bacterianos (control, B1 y B2), con cuatro réplicas por tratamiento. Los resultados indicaron que ambas cepas bacterianas lograron la reducción de la pérdida de peso de las plantas y modificar la bioacumulación y bioconcentración de los metales. El análisis para la cepa B2 mostró una disminución significativa en la acumulación de Zinc (Zn) en los brotes y Cadmio (Cd) respectivamente en las raíces. Se observó además que la diversidad bacteriana disminuyó con el incremento de los niveles de contaminación por lo cual se debe analizar los factores que contribuyeron a este resultado a pesar que la rizósfera mantuvo una mayor diversidad bacteriana contribuyendo a proteger a *Helianthus annuus L.* evitando la pérdida de su biomasa y favoreciendo la asimilación de metales en los tejidos aéreos.

Así mismo, para la determinación en laboratorio de la cepa bacteriana sulfato-reductora más adecuada para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados provenientes de actividades industriales, Duque (2015) en su estudio cultivó las bacterias sulfato-reductoras a partir de muestras de una colección previamente identificada, utilizando Columnas de Winogradsky, medios Pfennig o Postgate C. Posteriormente, se llevó a cabo el aislamiento necesario para llevar a cabo el proceso de biorremediación. Duque, indica que estas bacterias utilizan sulfatos y óxidos de azufre como aceptores finales de electrones, lo que resulta en la producción de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Al reducir sulfatos a sulfuros, facilitan la precipitación e inmovilización de metales tóxicos solubles en forma de sulfuros metálicos insolubles. Sin embargo, es importante entender la dinámica del ecosistema microbiano presente y la capacidad de biorremediación explorando más la diversidad microbiana.

Diversos estudios han demostrado que los microorganismos pueden utilizar y transformar metales pesados para obtener energía, lo que influye en su biodisponibilidad, por lo cual, Beltrán Pineda & Gomez Rodríguez (2016) explican que la ingeniería genética ha mejorado cepas microbianas con mayor capacidad de remediación, con resultados prometedores. Sin embargo, los mejores resultados se logran al combinar microorganismos y plantas en un proceso simbiótico que maximiza la eliminación de contaminantes.

Las plantas hiperacumuladoras de metales (metalófitas) gracias a su alta capacidad de acumulación en las raíces y translocación hacia otros órganos, pueden alcanzar hasta un 100% de remoción. Estas plantas tienen adaptaciones bioquímicas como la formación de metalotioneínas, que les permite regular la acumulación de metales tóxicos como cadmio, cromo y mercurio, protegiendo sus células de efectos dañinos. Aunque se reconozca la

importancia de la simbiosis entre bacteria y planta para la remediación, no se menciona ninguna evaluación cuantitativa ni otras técnicas específicas de análisis de resultados como los utilizados en nuestra investigación, que nos puedan dar seguridad y respaldo al mencionar que se puede llegar hasta un 100% de remoción.

Existen diversas estrategias innovadoras para la remediación de sedimentos contaminados con metales pesados, enfocándose en la estabilización o inmovilización de dichos metales en las partículas de sedimento. Como parte de ellas, Paredes (2017) propone el uso de bacterias autóctonas aisladas directamente del sitio contaminado. Durante el proceso experimental, se identificaron las cepas con mayor resistencia: *Pantoea spp.* (gramnegativa) y *Bacillus aryabhatai* (grampositiva), que mostraron una alta capacidad de adsorción, removiendo entre el 70% y 90% de zinc (Zn) y cobre (Cu), mientras que el plomo (Pb) se distribuyó equitativamente tanto dentro como fuera de las células bacterianas, demostrando su potencial para la biorremediación. Pese a que el mayor número de aislamientos pertenecen al grupo de bacterias Grampositivas, los dos aislados de *P. agglomerans* RSO6 y RSO7 fueron los que mostraron mejores resultados en cuanto a resistencia y bioacumulación de metales pesados, propiedades PGP y capacidad de formar biofilms. La cepa Gram-positiva *Bacillus aryabhatai* RSO25, así como las cepas Gramnegativas *Pantoea agglomerans* RSO6 y RSO7, han demostrado ser eficientes en cuanto a la protección de las semillas en presencia de un exceso de metales, incrementando 2,5 veces más el porcentaje de germinación en comparación con las semillas no inoculadas, mientras que la inoculación con el consorcio de las tres cepas no generó una mejora adicional en la presente investigación se tuvo resultados óptimos con el consorcio de dos tipos de *Pseudomona spp.*

La industria en sus diferentes ramas genera residuos que son dispuestos al medio, en la metalurgia se generan escorias como subproducto de procesos de explotación que son liberados al medio ambiente sin un tratamiento previo, por lo cual Agnello et al. (2018) busca explorar la influencia de las escorias pirometalúrgicas abundantes en cobre en el sistema del Girasol (*Helianthus annuus L.*) y microorganismos del suelo, se utilizó una metodología experimental, en donde se insertó un cultivo de *Helianthus annuus L.* con una mezcla de 50% p/p de suelo agrícola y escorias granuladas. Según la prueba de lixiviación se observó que los metales liberados de las escorias se dieron en este orden: $Cu > Zn > Pb$ con un nivel de muestra en AS + GS (50% p/p) de 46.9 mg/Kg de Pb y la concentración en brotes de girasol fue de 124 mg/Kg de Pb, brindando como resultado que el Pb se acumuló especialmente en los tejidos superficiales. Sin embargo, las escorias provocaron cambios en la comunidad microbiana, por lo cual, aunque el girasol demostró potencial para tolerar y acumular metales, la capacidad de absorción de la planta y la bioaccesibilidad de los metales no se encuentra bien definida.

El uso de PGPR en procesos de fitorremediación se ha promovido debido a la alta eficiencia de la asociación sinérgica entre rizobacterias y plantas, Raza Altaf et al. (2020) presenta un estudio que investiga el efecto combinado de PGPR con materia orgánica sobre el crecimiento, fisiología y rendimiento del girasol en suelos contaminados con Plomo (Pb). Las muestras de suelo fueron preparadas con una solución salina de $Pb(NO_3)_2$ y composta con pressmud al 2% (p/p) como enmienda orgánica; y las semillas de girasol fueron inoculadas con la cepa *Pseudomonas gessardii* BLP141. Posterior a la cosecha se registraron datos de crecimiento, rendimiento y fisiología en el que se observó que el crecimiento de las plantas había mejorado en un 65%, el contenido de clorofila en 63%, el rendimiento en 47%

y la inmovilización del plomo con respecto a la semilla no inoculada mejoró en un 78%, la materia orgánica del suelo en 26%, contenido de nitrógeno total en 21%, fósforo disponible en 20% y contenido de potasio extraíble en 26%. Concluyendo así que la aplicación combinada de la especie y la cepa es una práctica factible que mejora el crecimiento de la planta y el rendimiento frente a suelos contaminados con plomo, recalcando que podría expandirse la investigación a otros contaminantes que puedan interferir en el proceso de absorción además de definir y explorar los mecanismos moleculares específicos por los cuales esta cepa en su asociación al pressmud promueven la detoxificación de plomo en el girasol.

Se utiliza *Helianthus annuus L.* como especie con potencial de fitoextracción de plomo debido a sus altas tasas de crecimiento es así que Chauhan et al. (2020) evalúa las respuestas fisiológicas y bioquímicas de la eficiencia de acumulación de Pb en cinco variedades de *Helianthus annuus L.* (DRSF-108, DRSF-113, LSFH-171, Phule Bhaskar y KBSH-44). Las plántulas se trataron con diferentes concentraciones de Pb, observándose que la fitoextracción de Pb era más eficiente a mayor concentración de este elemento, igualmente genera cambios morfológicos a la raíz de *H. annuus L.* entre concentraciones de 50–500 mg kg⁻¹ y 700-1000 mg kg⁻¹. Se observó que la variedad *Phule Bhaskar* logró la mayor concentración de Pb en sus tejidos (639,69 mg kg⁻¹), lo que convierte a esta variedad en una alternativa de remediación de suelos agrícolas contaminados con plomo. Resaltando que aún hay brechas de información en la comprensión de los mecanismos genéticos y bioquímicos en la fitoextracción de plomo.

Pseudomonas spp. son microorganismos por excelencia que logran producir enzimas que ayudan a disminuir las concentraciones de metales pesados, logrando proveer de

condiciones que permiten tolerar el estrés por cobre, en su investigación Abbaszadeh-Dahaji et al. (2021), estudia los efectos de dos cepas de PGPR resistentes al Cu (*Pseudomona fluorescens* P22 y *Pseudomona* spp. Z6) sobre el crecimiento y nutrición de *Zea mays* y *Helianthus annuus* L, cultivadas en un invernadero en suelo contaminado con cobre. El suelo de experimentación fue recolectado de un área industrial y para su utilización pasó un tamiz de 2 mm y sometido a estudios de parámetros iniciales de identificación de metales, conductividad eléctrica, pH, etc. La selección de cepas para PGPR fueron aprobadas según los rasgos de promoción de crecimiento vegetal según la producción de auxinas, sideróforos, cianuro de hidrógeno, ACC-desaminasa y solubilización de compuestos insolubles en agua. Los tres tratamientos contaron con cuatro réplicas *P. fluorescens* P22, *Pseudomona* spp Z6 y un blanco, las macetas estaban compuestas de 3 kg de suelo tamizado que fue esterilizado previamente para evitar la presencia de patógenos.

Los resultados demostraron que ambas cepas aumentaron los parámetros vegetativos de las plantas, incluida la biomasa de los brotes, altura y diámetro del tallo y el índice de clorofila, elevaron la absorción de nutrientes como el potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso y cobre. En cuestión de absorción de metales la inoculación de *P. fluorescens* P22 y *Pseudomona* spp. Z6 en *Helianthus annuus* L. provocó la absorción de Zn al 42% y 114% y Mn al 61% y 88% respectivamente, sin embargo, es primordial ampliar el estudio para evaluar qué parámetros pueden reducir su eficiencia al llevarlos a escala y de igual manera explicar los mecanismos específicos de la cepa que permiten la regulación de mecanismos antioxidantes a nivel molecular.

La fitoextracción asistida por microorganismos es una estrategia prometedora para mejorar el crecimiento y acumulación de metales pesados en plantas en suelos

contaminados. En este contexto, la enzima desaminasa ACC, producida por ciertas bacterias, y los sideróforos juegan un papel clave en la mitigación del estrés abiótico y en la biodisponibilidad de metales, Kumar et al. (2021) aisló cuatro rizobacterias productoras de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa pertenecientes a *Trifolium repens L.* que tienden a crecer en suelos contaminados con Cu. Un consorcio de bacterias productoras de alto contenido de ACC desaminasa (53,74 mM a-cetobutirato mg⁻¹ proteína-h¹) produciendo la cepa TR15a *Pseudomonas spp.*, y la cepa TR15c, productora de sideróforos *Bacillus aerophilus*, la cual presenta mejores resultados para la tolerancia a múltiples metales, incluido el Cu (1750 mg kg⁻¹), la resistencia a los antibióticos y promotores de crecimiento vegetal. El experimento a escala potencial (enriquecido con 100 mg Cu Kg⁻¹) demostró que la inoculación de semillas de *Helianthus annuus L.* utilizadas con el consorcio de TR15a y TR15c logran mejorar la germinación de la semilla en un 32%, el incremento de biomasa en 64%, captura de Cu en la raíz del 47% y en brotes de un 75%, se redujo el etileno que causaba estrés en la planta mientras que los sideróforos incrementaron la solubilización de cobre en el medio facilitando su absorción por lo cual podrían desempeñar un papel vital en una mayor absorción del metal y mejora de la biomasa. Por otro lado, uno de los retos que debe enfrentar la presente investigación es analizar la influencia de factores externos en la producción de desaminasa ACC y sideróforos para optimizar la aplicación de esta técnica en suelos contaminados.

La aplicación de avanzadas herramientas y técnicas eficaces para caracterizar potentes comunidades microbianas del suelo y su significancia en la mejora de los procesos de fitorremediación relacionados con suelos contaminados forma parte del estudio realizado por Bhanse et al. (2022), en el cual se revisa bibliográficamente la implicancia del genotipo

y fenotipo de cada planta como factores que son esenciales para establecer la asociación entre las raíces y microbios incluyendo rizobacterias debido a que promueven la biodisponibilidad de nutrientes, previenen la invasión de patógenos y mejoran la calidad del suelo; por otro lado las rizobacterias se comportan como bioindicadores de la calidad debido a que son influenciados por la presencia de contaminantes que vuelven infértil el suelo donde se encuentran por lo cual las plantas necesitan de ellas para conseguir nutrientes del medio ya la vez verse beneficiadas en su crecimiento. La fitorremediación es una estrategia que implica el uso de plantas y microorganismos asociados a las bacterias para mejorar la salud del díselo y reducir la concentración y toxicidad asociada a contaminantes orgánicos e inorgánicos; las fitotecnologías como la fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, rizofiltración entre otras han logrado convertirse en temas de estudio durante los últimos años debido a las grandes ventajas que brindan, son costo-efectivas, amigables con el ambiente, poseen múltiple aplicabilidad, promueven la absorción de metales, mejoran la fertilidad del suelo y generan bioelectricidad. El papel de las PGPR como estrategia combinada a la fitorremediación se convierte en un agente de mejora en la absorción de contaminantes del suelo, se nombra géneros microbianos como *Azotobacter*, *Penibacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Serratia*, entre otros que promueven el crecimiento de la planta frente a la presencia de contaminantes además de reducir los efectos dañinos,

La contaminación por cadmio (Cd) y zinc (Zn) en suelos agrícolas es un problema crítico, particularmente en cultivos alimentarios como el arroz (*Oryza sativa*), por ello Liu et al. (2022) busca analizar la mejora en la eficiencia de remediación de suelos al asistirlo con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) contaminados con metales pesados, se utilizó la combinación de arroz y cepa PGPR tolerante a Cd y Zn (*Bacillus* sp.

ZC3-2-1) explorando el efecto de las inoculaciones sobre las comunidades bacterianas en la rizósfera y la homeostasis iónica del arroz expuesto a Cd y Zn. Para la obtención de bacterias se aislaron seis bacterias de la rizósfera mediante el método de placa extendida y placa rayada para determinar sus rasgos promotores del crecimiento vegetal y seleccionar la cepa con los mejores rasgos. El suelo del experimento estuvo compuesto de suelo nutritivo y vermiculita en volumen 1:1, para establecer el nivel de contaminación se mezcló 50 ml de solución de 6 g/L de $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$ en 1,5 kg de suelo experimental, mientras que el suelo contaminado con Zn (400 mg kg^{-1}) se preparó mezclando 50 ml de solución de 53 g/l de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 1,5 kg de suelo experimental, se dejó cuatro semanas de reposo para estabilizar el metal en el suelo. Las plántulas de arroz se inocularon mediante sumersión en medio de cultivo bacteria durante 1 a 2 minutos,; CK (suelo no contaminado + arroz sin inocular), Cd (100 mg kg^{-1} suelo contaminado con cadmio + arroz sin inocular), CB (100 mg kg^{-1} suelo contaminado con cadmio + arroz inoculado), Zn (400 mg kg^{-1} suelo contaminado con zinc + arroz no inoculado), ZB (400 mg kg^{-1} suelo contaminado con zinc + arroz inoculado), ZC (400 mg kg^{-1} zinc y 100 mg kg^{-1} de suelo contaminado con compuesto de cadmio + arroz no inoculado), ZCB (400 mg kg^{-1} de zinc y 100 mg kg^{-1} de suelo contaminado con compuesto de cadmio + arroz inoculado) se establecieron siete grupos de tratamiento con tres repeticiones en cada grupo, se colocaron en invernadero a 25°C y posterior a 30 días se cosecharon las plántulas. Los resultados demostraron que la aplicación de *Bacillus sp.* ZC3-2-1, aumentó la biomasa de arroz, promueve la fitoextracción e inmovilización del metal y promovió el mantenimiento de la homeostasis del suelo. Para optimizar la aplicación de PGPR en la fitorremediación de cadmio y zinc en cultivos de arroz, es imprescindible analizar el impacto en la microbiota del suelo, la relación de la

interacción planta - microorganismo bajo estrés múltiple, el efecto de la segregación de metabolitos secundarios, la adaptación a diferentes tipos de suelo y clima por parte de las cepas y su influencia en el ciclo de vida de ambos metales en la planta, además de investigar la translocación de estos componentes a los granos que colocarían en peligro la seguridad alimentaria.

La asociación sinérgica entre plantas y microorganismos juega un rol fundamental en la remediación de suelos contaminados por actividades industriales y Waseem et al. (2024) lo evalúa mediante el análisis de la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* con la aplicación de dos bacterias autóctonas *Stutzerimonas stutzeri* y *Pseudomona sundara*, provenientes de suelo contaminado con metales pesados. Las semillas de girasol utilizadas fueron plantadas en macetas las cuales contenían 5 kg de tierra de jardín, compost al 2% del peso total y suelo contaminado en concentraciones de 0, 5 y 10 %, se realizó la experimentación por triplicado. Las raíces de *Helianthus annuus L.* fueron inoculadas en intervalos semanales con 1 ml de muestra de las bacterias autóctonas que previamente fueron aisladas y regadas con agua destilada. Posterior a 60 días de la siembra se recolectaron las plantas para evaluar parámetros morfológicos, fisiológicos, antioxidantes y de contaminación. Los resultados demostraron que al agregar las dos bacterias impactaron positivamente en la altura de la planta en 0% de contaminación comparado a todas las experimentaciones, sin embargo en las evaluaciones individuales el caso de contaminación del 5% presentó mayor crecimiento en las plantas que tenían la inoculación de las bacterias; el análisis de pigmentos demostró una mejora en clorofila a,b, carotenoides y las proteínas presentes, la catalasa, peroxidasa, ascorbato peroxidasa y prolina aumentaron así como disminuye el contenido de peróxido de hidrógeno. Se comprobó la promoción de absorción

de metales pesados en los tejidos vegetales de las plantas y se analizó la disminución de la conductividad eléctrica, SST, bicarbonatos y metales pesados en el suelo post tratamiento. Concluyendo así que el uso de *Helianthus annuus L.* con *Stutzerimonas stutzeri* y *Pseudomonas sundara* son beneficiosos como promotores de la eficiencia en la fitorremediación de metales pesados, siempre y cuando se analicen parámetros iniciales como pH, conductividad eléctrica, textura y capacidad de intercambio catiónico del suelo que puedan interferir en el adecuamiento, crecimiento y reproducción de los inóculos en el medio.

Nacional

Los pasivos mineros representan un problema ambiental debido a la liberación de metales pesados que contaminan suelos y cuerpos de agua, afectando ecosistemas locales y la salud humana, por ello Muñoz et al. (2019) evaluó el grado de tolerancia de hongos y bacterias aisladas de suelos con y sin rizósfera hacia los metales pesados para poder conocer su potencial como biorremediadores. Se tomaron muestras del pasivo minero de Santa Rosa de Jangas, y se aislaron los hongos y bacterias identificándose mediante el análisis de región ITS y 16S ADNr. Los metales pesados que se utilizaron para calcular en índice de tolerancia fueron Plomo (II), Cobre (II), Niquel (II) o Zinc (II), y 0.1 mM a Plata (I), Cromo (VI) o Cadmio (II). Las cepas de hongos que obtuvieron los resultados más óptimos de tolerancia fueron: *Fusarium temperatum* CTLM05 (Pb^{+2}), *Fusarium temperatum* CTLM08 (Zn^{+2}), *Fusarium oxysporum* CTLM18 (Ni^{+2} y Cd^{+2}), *Fusarium oxysporum* CTLM12 (Ag^{+1}), *Fusarium inflexum* CTLM22 (Cu^{+2}) y *Penicillium vanluykii* CTLM11 (Cr^{+6}). Y las bacterias con mayores índices de tolerancia fueron *Bacillus licheniformis* SSR18 (Cd^{+2} , Ni^{+2} y Zn^{+2}), *Bacillus subtilis* SSR3 (Pb^{+2}), *Serratia sp.* SSR15 (Cu^{+2}), *Serratia sp.*

SSR13 (Ag+1) y *Bacillus cereus SSR01 (Cr+6)*. Al no tener todos los parámetros de evaluación bajo control se debe evaluar la respuesta real de los microorganismos frente al ambiente externo y las implicancias que tendría sobre la flora del lugar.

La contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, como Pb y Cd, representa un desafío ambiental significativo debido a los efectos adversos sobre la fertilidad del suelo, producción de cultivos y la salud humana. Frente a las limitaciones de los métodos convencionales, la fitorremediación surge como una alternativa sostenible. En este contexto Munive Cerrón et al. (2020) realizaron una investigación con la finalidad de determinar la capacidad de absorción del girasol (*Helianthus annuus L.*) en un suelo contaminado con plomo y remediado para facilitar la fitoextracción con enmiendas orgánicas con compost y vermicompost. Se utilizaron dos tipos de suelos agrícolas con textura franco arcillosa con una concentración de Pb promedio de 1174 mg/kg y suelo con textura franco arenosa con concentración de Pb de 208 mg/kg. El tratamiento duró 90 días y se obtuvo como resultado que el girasol absorbe los metales pesados con mayor acumulación de plomo en la raíz, presentando un promedio máximo de 134,75 mg.kg⁻¹. Respecto a las hojas, tallos y flores se observó que las hojas tuvieron un porcentaje de bioconcentración (prom. máx.: 28,38 mg.kg⁻¹) y los tallos y flores con valores entre (prom. máx.: 9,16 mg Pb.kg⁻¹). A pesar de los hallazgos encontrados, la investigación se limita al estudio de dos contaminantes sin tomar en cuenta una línea base de contaminación del lugar. La evaluación se realizó a condiciones controladas y en un único ciclo de cultivo, por lo que no se han tomado en cuenta los efectos a largo plazo de las modificaciones de fertilidad del suelo y otros parámetros que lo modifiquen directamente.

La contaminación de suelos por metales pesados en lugares como botaderos municipales, plantea graves riesgos ambientales y de salud pública, por ello es imperioso el uso de técnicas sostenibles como la fitorremediación para restaurar los ecosistemas afectados. Es así que Castañeda (2022) en esta investigación se plantea el uso de maíz y girasol, como una alternativa de fitorremediación para suelos contaminados con metales pesados en el botadero Municipal de Lucma. Se evaluó su efectividad y se comprobó la hipótesis con los resultados de remoción de Plomo con valores de 41.51%, 43.47% y 44%, para el Arsénico se obtuvo valores de 49.96%, Mercurio de 50.26%, 59.38% y 62.28%, y por último para el Cadmio con valores de 76.41%, 61.62% y 64.66%; concluyendo que la asociación de *Helianthus annuus* con otra especie fitorremediadora genera resultados mucho más eficientes en cuanto a remoción de metales pesados. Sin embargo, es importante cuestionar el destino final de la biomasa con concentraciones altas de Cadmio debido a que al encontrarse libremente en la naturaleza se encuentra expuesto que, al culmen de su vida útil, los metales vuelvan al medio generando mayor contaminación, además que no registra información sobre los efectos de la microbiota del medio sobre el crecimiento y desarrollo del maíz y el girasol.

Según Dantán & Pérez (2020) la contaminación del suelo por metales pesados representa una de las problemáticas ambientales más urgentes debido a la persistente toxicidad que presentan. Las actividades humanas han exacerbado su acumulación afectando la productividad agrícola, la salud de los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Por ello en su estudio exponen el potencial fitorremediador de las plantas en asociación con rizobacterias. Se buscó determinar los consorcios de bacterias rizosféricas que son tolerantes a Cr+6 aisladas de malezas en botaderos de residuos municipales. Se utilizaron macetas de

0.5 kg de grava y 1.5 kg de suelo experimental más suelo radicular que fueron adaptadas en condiciones de invernadero en soluciones de 15, 30, 60, 120 y 240 mg kg⁻¹ Cr+6 y después de 60 días se seleccionaron las más resistentes. Se inoculó tres consorcios microbianos tolerantes con actividad de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desaminasa, y con 564.6 mg kg⁻¹ de Cr+6, después de los 60 días se cuantificó al metal en raíces y suelo con la menor toxicidad en la germinación de semillas de *Raphanus sativus L.* “rabanito”. *Cyperus corymbosus*, *Echinochloa colonum* y *Sorghum halepense*. Y se determinó que los consorcios bacterianos promueven el crecimiento de las plantas incrementando la fitorremediación destacando el realizado con *C. corymbosus* con el consorcio 1 alcanzando 77.5% de eficiencia con factor de bioconcentración de 2,24. Sin embargo, aún hay retos importantes por superar, abordar los costos de implementación y los desafíos de la misma, abordar cuestiones técnicas, económicas y ecológicas que serían obstáculos para su desarrollo.

La contaminación derivada de actividades minero metalúrgicas, representa un desafío ambiental significativo en regiones como el Valle del Mantaro, en ese contexto la fitoextracción con enmiendas de lombricompost, asienta las bases para un enfoque de remediación sostenible. En ese contexto Cerrón Mellado (2022), analiza la reducción de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris mediante fitoextracción con girasol (*Helianthus annuus L.*) y enmienda de vermicompost. Se realizaron 3 tratamientos y un control, los tratamientos contenían concentraciones de vermicompost al 25%,50% y 75%, se colocaron 2 semillas por prueba y se evaluaron los parámetros iniciales, Los resultados demostraron que el T2 con 50% de agregado de vermicompost tuvo mayor bioacumulación en hojas tallo y raíces, el tamaño de la planta y

raíces, número y longitud de hojas tuvieron diferencias significativas en los tratamientos a comparación del testigo, estos resultados son asociados a la cantidad de materia orgánica disponible para el crecimiento de la especie. Los valores de pH disminuyeron post tratamiento y adición de vermicompost lo cual define la movilización de los metales en el suelo. Concluyendo que la relación entre girasol y la adición del 50% del peso total en vermicompost genera beneficios para la planta y su proceso de fitorremediación. Cabe destacar que para un mejor desarrollo experimental se debe realizar inicialmente una línea base del nivel de contaminación en el suelo, además de considerar el efecto sinérgico entre diversas especies para un mayor porcentaje de remoción de metales pesados del medio, haciendo óptimo el proceso de fitorremediación.

La fitorremediación asistida por enmiendas orgánicas, constituyen una técnica eco amigable que combina las capacidades de las plantas para extraer y/o estabilizar metales pesados con la mejora de las propiedades del suelo. El estudio de Castañeda & Canchan (2022) evalúa una asociación de enmiendas y especies para la fitorremediación de suelos contaminados con Cadmio, se emplea maíz (*Zea mays L.*) y girasol (*Helianthus annuus L.*) en conjunto con enmiendas orgánicas, biochar y vermicompost, bajo un diseño experimental al azar; dando como resultados que la concentración del Cd fue mayor en la parte área que en la raíz de ambas especies, y el factor de bioconcentración total fue mayor en la asociación del maíz con vermicompost y el girasol solo, demostrando que es una especie con alta capacidad fitorremediadora por sí sola. La concentración del Cadmio (Cd) en el suelo se redujo al final del experimento en un 53% con la asociación de girasol y biochar. El estudio presenta limitaciones al no evaluarse la microbiota original del suelo y sus efectos en el

proceso de fitorremediación. Tampoco se exploran comparaciones con otras técnicas de remediación ni la interacción con otros metales pesado presente en el suelo contaminado

Explorar la capacidad del girasol para acumular metales pesados como alternativa para la fitorremediación en áreas contaminadas con relaves mineros constituye un esfuerzo de la sociedad y la industria por unificar actividades humanas con responsabilidad ambiental, por ello Huaranga et al. (2022) desarrolla una investigación que tiene la finalidad de evaluar y cuantificar la capacidad de absorción de Cu, Cd, Pb y As en el tallo, raíz y hojas del girasol (*Helianthus annuus L.*) utilizando muestras de suelo contaminado con material de relave. Para ello se prepararon cuatro grupos de experimentación con 25, 50, 75 y 100% de suelos con relave, para determinar el grado de asimilación de los metales en tallo, raíz y hojas. Se realizaron monitoreos de las concentraciones iniciales y finales en periodos de tiempo de 30, 60 y 90 días de iniciado el experimento. Según los resultados obtenidos se observó la siguiente tendencia de absorción: Cu>As>Pb>Cd, mostrando gran capacidad de bioacumulación de cobre que variaron entre 95 y 161.50 mg/kg en comparación con los otros metales, el órgano de la especie con mayor poder de fitorremediación fue la raíz. A pesar de los excelentes resultados obtenidos, aún existen vacíos de información, principalmente en la caracterización de los relaves mineros que no solo contienen metales sino también otros compuestos que pueden perjudicar directamente en la capacidad del girasol para crecer, desarrollarse e incluso absorber metales de estas fuentes.

Local

Sarmiento-Sarmiento & Febres (2021) evalúan el efecto del girasol y el compost en la remediación de suelos agrícolas contaminados artificialmente con Pb. Los tratamientos fueron: T1 (suelo con Pb, compost y girasol), T2 (suelo con Pb y compost), T3 (suelo con Pb

y girasol) y T4 (suelo con Pb). El valor inicial de Pb en el suelo era de 16.05 ppm, y se agregaron 105 ppm de Pb mediante una disolución de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, alcanzando una concentración de 121.05 ppm como nivel inicial, superior al estándar de calidad ambiental (ECA) nacional para suelos agrícolas (70 ppm de Pb). Todos los tratamientos redujeron la concentración de Pb en el suelo por debajo del ECA. El T2 destacó al lograr una recuperación de Pb de 81.21 %. El factor de bioconcentración de Pb (FB) en la parte aérea y raíces de las plantas de girasol (T1 y T3) registró valores menores a uno, desempeñándose como una especie vegetal exclusora. Según el factor de translocación de Pb (FT), el girasol en presencia de compost (T1) se comportó como una planta fitoestabilizadora de Pb. Uno de los grandes desafíos que enfrentaría este estudio es la capacidad de absorción de plomo por parte del girasol durante varias temporadas o ciclos de cultivo, además del destino final de la planta al momento de la culminación de su tiempo de vida. Por otro lado, se desconoce si la biomasa de girasol contaminada podría generar riesgos secundarios para los cultivos cercanos a la misma.

2.2. Marco Teórico

Suelo

Es la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por una mezcla de minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, surge como consecuencia de un largo proceso de meteorización, y constituye el medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres, al proporcionarles los nutrientes que necesitan y servirles de sustrato sobre el cual crecen. No es un elemento estático y carente de vida, al contrario, la vida del suelo es muy diversa constituida por micro y macro organismos, por las plantas y su sistema radicular (Hernández, 2011).

Entre las funciones ecológicas, el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña [ICGC] (2019) refiere que se encuentran:

- Producción de biomasa: Facilita la capacidad de anclaje a las plantas, además de participar activamente en los ciclos de agua y nutrientes.
- Interacción ambiental: El suelo puede almacenar, filtrar y transformar la materia y energía que regula las reacciones que se dan en su seno y así protege al medio ambiente de contaminación.
- Hábitat biológico y reserva genética de flora y fauna: El suelo actúa como un entorno para la preservación de la vida sobre la tierra.

Entre sus funciones relacionadas a la actividad humana se encuentran:

- Medio físico: En este medio se tiene la mayoría de las actividades socioeconómicas.
- Fuente de materias primas.
- Herencia cultural: Puede contener restos arqueológicos y paleontológicos importantes culturalmente.

Funciones relacionadas a otros medios:

- Función Productiva: suministro de nutrientes, aire y agua a las plantas.
- Función Hidrológica: almacenamiento y flujo de agua superficial y subsuperficial.
- Función Medioambiental: filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y reducir la toxicidad de compuestos orgánicos e inorgánicos, conservación de ecosistemas, provisión servicios ecosistémicos, mitigación del impacto climático.
- Función Biológica: hábitat de diferentes organismos.

- Función Biogeoquímica: almacenar y posibilitar el ciclo biogeoquímico de nutrientes.

2.2.1.1. Fuentes de contaminación del suelo por metales pesados

La concentración de metales pesados en el suelo se divide en total, concentración que incluye todas las formas disponibles en el medio tales como minerales, óxidos, arcillas, carbonatos, materia orgánica, iones unidos a materiales, iones libres y complejos orgánicos e inorgánicos solubles, y disponible, en forma de iones libres, formas lábiles o complejos solubles (Guzmán Guerrero, A. 2021).

Estos elementos llegan al suelo como resultado de actividades industriales, mineras, inadecuada disposición de residuos sólidos, uso indiscriminado de pesticidas y agroquímicos elementos tales como Arsénico, Berilio, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Selenio, Titanio, Vanadio y Zinc son considerados elementos potencialmente tóxicos debido a sus propiedades según la concentración, solubilidad y movilidad en la que se encuentren en el medio y los seres vivos (Fernandez Ochoa et al., 2022; Volke Sepúlveda et al., 2005).

Los metales pesados son perjudiciales para las plantas aún así se encuentren en pequeñas concentraciones, debido a que son conocidos por su toxicidad, persistencia, naturaleza bioacumulativa y falta de biodegradabilidad (Alsafran et al., 2023; Jehan et al., 2022; Li et al., 2019). Desempeñan además un papel vital en plantas y animales debido a sus propiedades redox, coordinación química y procesos como homeostasis, degradación, transporte y unión a células. Sin embargo, la acumulación de estos metales puede afectar los procesos químicos y fisiológicos, provocando clorosis, afectación del crecimiento, disminución del rendimiento por la absorción mínima de nutrientes, afectación de raíces y mortalidad de las plantas (Kumar et al., 2019).

- 2.2.1.2. Factores que modifican la biodisponibilidad de metales pesados
- pH: Si el pH disminuye, se logra mayor absorción del metal, sin embargo si el pH aumenta, el metal es absorbido por el suelo, lo cual inmoviliza y baja la biodisponibilidad del metal a excepción del As, Mo, Se y Cr que tienden a ser más disponibles a pH alcalino (Universidad de Granada, 2023). El plomo se caracteriza por estabilizarse en formas poco solubles en las diferentes capas del suelo, en concentraciones muy altas tiende a precipitarse en forma de hidróxido, carbonato y fosfato, a valores de pH alcalinos el plomo se solubiliza (Galán Huertos & Romero Baena, 2008).
 - Materia orgánica: La materia orgánica presente en el suelo es un factor principal que determina la biodisponibilidad de los contaminantes, elevadas concentraciones de materia orgánica bajan la biodisponibilidad de diversos metales con la formación de complejo con sustancias húmicas, cambiando su estado de soluble a insoluble (Cerrón Mellado, 2022). A mayor concentración absorbe metales como el Cu y no deja disponibilidad de absorción para las plantas (Universidad de Granada, 2023) .
 - Textura del suelo: Se analizó que la concentración de metales a nivel traza asociados a la fase sólida tiende a aumentar rápidamente al disminuir el tamaño de la partícula en el suelo, por ello los suelos arcillosos tienden a absorber elementos traza en la superficie, y las fracciones de limo y arena tienen capacidades reducidas debido a su baja área superficial (Fernández del baño, 2012)
 - Capacidad Redox: El potencial redox es uno de los parámetros que controla la absorción de metales, en el caso del plomo se oxida el metal en zonas de condición anaeróbica en suelos húmedos, esto precipita al plomo y otros metales pesados, gracias a la presencia de iones ferrosos y carbonatados (Cerrón Mellado, 2022).

- Conductividad: La conductividad afecta la biodisponibilidad ya que influye en la cantidad y el tipo de químicos presentes, es además un indicador de la cantidad de sales presentes en el medio, cuando existe un crecimiento considerable de salinidad se produce una alta competencia entre los cationes de metales pesados y otro tipo de cationes por emplear espacios libres dentro de la materia orgánica suspendida, la cual usualmente es transferida y depositada dentro de los suelos. Así mismo, un incremento en los valores de conductividad de forma continua influye directamente en el proceso de adsorción y la inmovilización de cationes de metales pesados (Barrón, 2015).

2.2.1.3. Bacterias autóctonas del suelo

Microorganismos que habitan en el suelo, juegan un rol importante en la regulación de la fertilidad del suelo y en el ciclo de nutrientes, contribuyendo de esta manera a la conservación de la diversidad de las plantas en los ecosistemas (Armada, 2015). Dentro de su clasificación se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), las cuales se encuentran asimiladas a las raíces de las plantas o son de vida libre; comprenden mecanismos relacionados a la absorción de nutrientes, fijación de nitrógeno atmosférico o solubilización de fosfato en el suelo, en casos especiales promueven la segregación de fitohormonas que favorecen el crecimiento vegetal o producción de antibióticos que ayudan a prevenir el ataque de fitopatógenos además de contribuir en la construcción de biopelículas que permiten lidiar con el estrés abiótico. Los PGPRs se plantean como una nueva tecnología verde debido a su ventaja económica y amigable con el ambiente (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, 2023).

2.2.1.4. Industria

La utilización de recursos minerales en el desarrollo tecnológico genera efectos nocivos en los ecosistemas y las comunidades que se desarrollan sobre ellos, la gran mayoría de metales y contaminantes surgen en la minería, industria, fundición, quema de combustibles fósiles, fertilizantes, entre otros, los cuales al no lograr degradarse se quedan en el medio convirtiéndose en contaminantes que se mueven a través de la cadena trófica mediante las plantas y animales (Ramani et al., 2021).

La industria del curtido genera gran cantidad de efluentes líquidos altamente contaminados durante sus diferentes fases de producción, éstos se disponen en lagunas de oxidación superficiales que generan eutrofización de suelo y la lixiviación del metal contaminando cuerpos de agua, suelo y aire generando un problema ambiental de grandes magnitudes (Roque et al., 2013).

2.2.1.5. Límites Máximos Permisibles (LMPs)

El límite máximo permisible es una medida establecida por normativa del país, si se exceden estas medidas tiene el potencial de causar daño a la salud y el medio ambiente. Los LMPs sirven para poder controlar y fiscalizar, en el caso de su incumplimiento se puede recurrir a procedimientos penales (Quijada, 2021).

Tabla 3

Límite máximo permisible de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre.

Parámetros	Cemento	Cerveza	Papel	Curtiembre
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Temperatura (°C)	35	35	35	35
SST (mg/l)	50	350	500	500
Aceites y grasas (mg/l)	-	15	50	50
DBO (mg/l)	-	500	500	500
DQO (mg/l)	-	1000	1000	1500
Sulfuros	-	-	-	3
Cromo V	-	-	-	0.4
Cromo Total	-	-	-	2
N - Nh	-	-	-	30

Nota. Adaptado de Decreto Supremo N° 003 [PRODUCE] (2002).

2.2.1.6. Estándares de Calidad Ambiental- ECA

El estándar de Calidad Ambiental Suelo es la medida que establece los la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en aire, agua o suelos pero que no constituyen un riesgo significativo a seres humanos ni al ambiente; la mediación de los ECA se realiza directamente en los cuerpos receptores (Instituto de la Calidad Ambiental, 2023).

Tabla 4

Componentes regulados por los ECA

Componente	ECA
Agua	D.S. N° 004-2017-MINAM Cat 1: Poblacional y recreacional Cat 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales Cat 3: Riego de vegetales y bebida de animales Cat 4: Conservación del ambiente acuático
Aire	D.S. N° 003-2017-MINAM
Suelo	D.S. N° 011-2017-MINAM Suelo Agrícola Suelo Residencial / Parques Suelo Comercial / Industrial / Extractivo
Ruido	D.S. N° 085-2003-PCM
Radiaciones No ionizantes	D.S. N° 010-2005-PCM

Nota. Adaptado del Instituto de la Calidad Ambiental (2023).

Tabla 5

Estándares de Calidad ambiental para suelo

Parámetros mg/kg	Usos de suelo			Método de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial	Suelo Comercial/Indu strial/Extractivo	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0.37	0.37	0.37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0.082	0.082	0.082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0.1	0.6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a)pireno	0.1	0.7	0.7	EPA 8270
Hidrocarburos de petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2	1200	1200	5000	EPA 8015

(>C10-C28)

Fracción de hidrocarburos F2 (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
---	------	------	------	----------

Compuestos organoclorados

Bifenilos policlorados - PCB	0.5	1.3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0.1	0.2	0.5	EPA 8260
Tricloroetileno	0.01	0.01	0.01	EPA 8260

INORGÁNICOS

Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total	750	500	2000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 74710 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW- AWWA-WEF

4500 CN F o
ASTM D7237
y/ó ISO
17690:2015

Nota. Decreto Supremo N° 011 [MINAM] (2017).

2.2.1.7. Cromo

El cromo es un elemento que se encuentra naturalmente en animales, plantas y suelo, sus tres formas principales son cromo (0), cromo (III) y cromo (VI), utilizado en diversos procesos de manufactura como la industria textil en pigmentos y colorantes, así como en curtiembres de cuero. En su estado de cromo hexavalente se convierte en un problema ambiental debido a que al llegar a fuentes de agua genera efectos negativos en las especies marinas afectando su respiración, generando deficiencias en los nacimientos, infertilidad y formación de tumores; en los seres humanos genera daños a nivel cutáneo, problemas gástricos, debilitamiento del sistema inmune, daño renal y hepático además de ser un promotor de diversos tipos de cáncer (ATSDR, 2012).

2.2.1.8. Plomo

El plomo en forma natural en la corteza terrestre se encuentra como un metal gris azulado, considerado como sustancia tóxica según su disponibilidad en el ambiente al comprometer el equilibrio de los ecosistemas en la flora y fauna existentes (Farooq et al., 2010).

Empleado en la fabricación de acumuladores, pintura, forros para cables, cerámicas, vidrios especiales, soldadura, pigmentos y municiones, además es tóxico para la salud, ya que afecta principalmente el sistema nervioso y es asociado con la depresión de muchas funciones endocrinas (Rodríguez et al., 2006).

En las plantas se ha demostrado que las raíces tienen afinidad a acumular cantidades significantes de plomo mientras restringen de igual manera la translocación a las partes aéreas (Sharma & Shanker Dubey, 2005).

Los principales síntomas de toxicidad por Pb son: inhibición en el crecimiento de la raíz, disminución en el crecimiento de la planta y clorosis, en seres humanos al ser ingerido, inhalado o absorbido en niveles de 10 a 100 $\mu\text{g}/\text{dL}$, resulta tóxico para los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, así mismo afecta la piel y los riñones (Alvarado et al., 2011).

Biorremediación

Es un método basado en la capacidad metabólica de microorganismos para depurar suelos contaminados. Por otro lado, define a la biorremediación como un grupo de tratamientos a fin de evitar la contaminación de un determinado medio aplicando sistemas biológicos que destruirán los compuestos químicos en unos menos tóxicos. Uno de los factores que limitan la obtención de resultados eficaces son nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo, y parámetros fisicoquímicos como (pH, humedad, potencial redox) y la ausencia de microbios con potencial enzimático para degradar compuestos tóxicos (Delgadillo et al., 2011).

Existen diferentes técnicas de biorremediación, de las cuales se destaca la bioestimulación, bioaumentación y la fitorremediación.

Fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología biológica que emplea plantas para la remoción, degradación o inmovilización del contaminante, en suelos, sedimentos y aguas superficiales o someras, así diversas especies pueden usarse para tratar muchos contaminantes como los

metales pesados, hidrocarburos y elementos radiactivos. Los criterios de selección de la especie para aplicar una de los distintos tipos de fitorremediación deben tomar en cuenta características tales como: tolerancia al contaminante, tipo de enzimas degradativas que producen, tipo de crecimiento radicular, potencial de evapotranspiración, capacidad de bioacumular e inmovilizar el contaminante (Larenas Parada & De Viana, 2005).

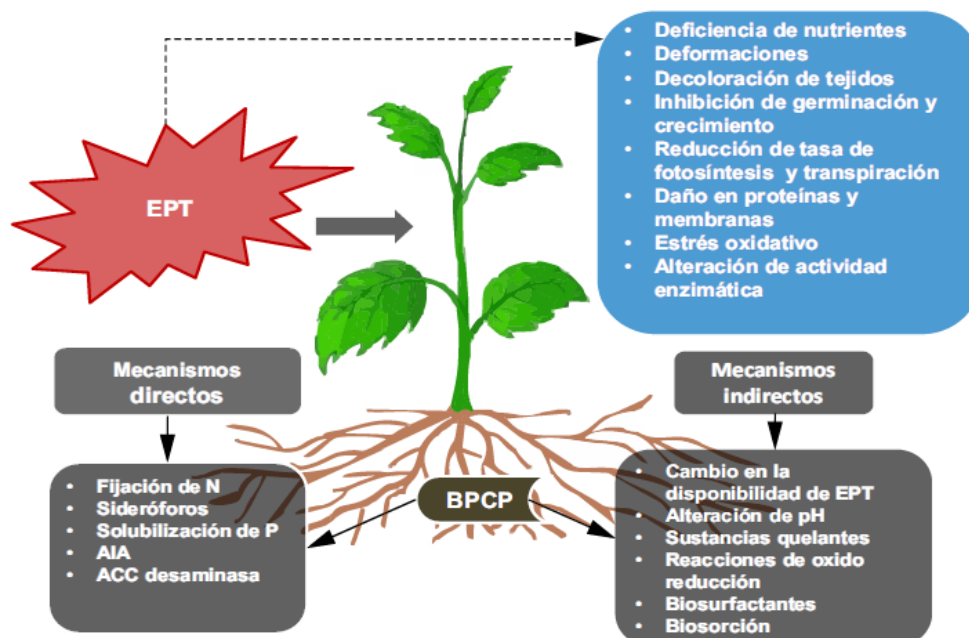
Las plantas que son de rápido crecimiento y vida corta conocidas como hiperacumuladoras pueden transferir mayores concentraciones de metales pesados a sus tejidos, producir mayor biomasa y son más fáciles de cosechar (Carranza Bautista, 2009).

Las principales fuentes de metales pesados en los vegetales son su medio de crecimiento: agua, suelo y nutrientes, por los cuales son absorbidos mediante sus raíces o foliage (Lokeshwari & Chandrappa, 2006).

Existen innumerables bacterias aeróbicas y anaeróbicas que en consorcio logran ayudar a degradar contaminantes; estos incluyen *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Flavobacterium*, *Methylosinus*, *Mycobacterium*, *Myxococcus*, *Nitrosomonas*, *Nocardia*, *Penicillium*, *Phanerochaete*, *Pseudomonas*, *Rhizoctonia*, *Serratia*, *Trametes* y *Xanthobacter*, estas se convierten en rizobacterias que aumentan la eficiencia de la fitorremediación al promover el crecimiento de las plantas (PGPR) contribuyendo al aumento significativo de biomasa en raíces y brotes de las especies además de la degradación de los contaminantes (Bhupinder, 2017).

Figura 1

Mecanismos utilizados por bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)



Nota. Adaptado de “Fitorremediación asistida por microorganismos: bacterias promotoras de crecimiento de plantas” (p. 3), por Perea Vélez, 2014, Agroproductividad 10(4).

A. Factores de concentración

Se utilizan los factores de concentración para medir la capacidad de las plantas para remover metales de áreas contaminadas, estos índices se calculan a partir de información experimental de concentración de metales presentes en diferentes partes de la planta y el suelo (Montano et al., 2022).

a. Factor de Bioconcentración total (FBCT)

El factor de Bioconcentración se refiere a la relación entre la concentración de un metal presente en la planta y la concentración presente en el suelo, se usa para medir la eficiencia de acumulación de metales (Montano et al., 2022).

2.2.3.1. Técnicas de Fitorremediación

a. Fitoextracción: Uso de plantas que poseen una capacidad natural frente a otras para absorber y concentrar en sus tejidos aéreos determinados metales pesados (As, Cd, Co, Ni, Se o Zn) sin presentar síntomas visibles de toxicidad (Medina Marcos & Montano Chávez, 2014).

b. Rizofiltración: Proceso en el cual las raíces de las plantas absorben, precipitan y concentran los contaminantes de medios líquidos contaminados donde llegan a degradar los compuestos orgánicos, para finalmente ser cosechadas y dispuestas en uso final (Arias Martínez et al., 2010; Montano et al., 2022).

c. Fitoestabilización: Proceso realizado por plantas que son capaces de secuestrar o inmovilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos en su raíz, evitando la traslocación a la parte aérea o al aire (Medina Marcos & Montano Chávez, 2014).

Su relación se explica mediante esta fórmula.

$$([\text{raíz}]: [\text{suelo}] < 1 \text{ y/o } [\text{hojas}]: [\text{raíz}] < 1) \quad \text{Ec 1}$$

d. Fitovolatilización: Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos a través de enzimas especializadas, que pueden transformar, degradar y volatilizar los contaminantes del suelo para liberarlos a la atmósfera (Arias Martínez et al., 2010; Medina Marcos & Montano Chávez, 2014).

e. Fitodegradación: Proceso en el que las plantas absorben el contaminante para metabolizar, transformándolo en un material que no representa riesgos para el medio natural (Montano et al., 2022).

f. Fitoestimulación: Proceso por el que las raíces de las plantas, microflora y productos excretados destruyen al contaminantes en la raíz mediante la promoción del desarrollo de microorganismos vegetativos (Arias Martínez et al., 2010).

g. Rizorremediación: Proceso que combina la biorremediación y fitorremediación, en el cual la especie vegetal es una plataforma que alberga microorganismos que van a degradar los xenobióticos del medio. La degradación se puede pasar de manera natural o mediante un proceso de aislamiento de bacterias u hongos rizosféricos que posteriormente serán re-inoculados a la planta (Eevers et al., 2017).

Especie de estudio con potencial fitorremediador

2.2.4.1. Girasol (*Helianthus annuus* L.)

Es una planta herbácea anual de la familia de las asteráceas originaria de Centro y Norte América y cultivada como alimenticia, oleaginosa y ornamental en todo el mundo. Perteneciente a la familia Compositae, cuenta con buena capacidad de adaptación climática, resiste moderadamente la sequía y bajas temperaturas, poco tolerante al encharcamiento y salinidad (Universidad Pública de Navarra, 2005).

Es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad acumulándose más en sus raíces que en sus brotes si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Prajitha & Thoppil, 2018). Esta clasificación la caracteriza por un rápido crecimiento y la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, parte de su

adaptación es la de acumular el contaminante en las raíces y la translocación de estos a otros órganos vegetativos. Tienden a inmovilizarlos en las vacuolas ya que son el lugar de mayor acumulación de metales pesados en células vegetales, debido a que su compartimentalización es efectiva controlando distribución y concentración de iones metálicos, evitando afectar a la planta directamente (Beltrán Pineda & Gomez Rodríguez, 2016; Wu et al., 2010).

Es reconocida como fitorremediadora, por su capacidad de absorción de grandes cantidades de metales pesados, por lo que se le considera planta hiperacumuladora de Cd, Pb, Zn, y elementos radiactivos (Buendía Ríos et al., 2014).

a. Hormonas Vegetales y Fitorremediación: Un vínculo promisorio.

Alcantara Cortes et al. (2019) describe las principales fitohormonas que son clasificadas como reguladores del crecimiento vegetal, las cuales regulan la producción de exudados radiculares que permiten la movilización de nutrientes en el medio que son componentes de los mecanismos de absorción de metales (Nguyen et al., 2020).

- Auxinas: Hormonas especializadas en dominancia apical, producción de raíces adventicias, formación y elongación de tallos, división celular, aumento del contenido osmótico celular, permeabilidad celular y producción de proteínas además de la disminución de la presión en la pared celular promovidos por L-Triptófano con variedades reportados como el ácido 3-indol-acético (AIA), AIB, 2,4-D, ácido o-naftalenacético (NAA).

Las auxinas juegan un rol importante en el crecimiento vegetal y defensa frente al estrés salino (Duane et al., 2020). Involucrada en el desarrollo radicular de la planta, aumenta la superficie por la formación de pelos radiculares o raíces en racimo que permiten mayor captación de nutrientes.

- Giberelinas: También denominadas como ácidos giberélicos, producida por diversos microorganismos como *Pseudomona spp.* cuando se dan interacciones simbióticas y por plantas en tejidos jóvenes. Involucrados en el desarrollo de tejidos, elongación de hojas jóvenes, raíces, floración, alargamientos de segmentos nodales en respuesta a la luz y oscuridad. Relacionadas a mecanismos de respuesta frente estrés abiótico, promoviendo el crecimiento y desarrollo vegetal, en *Chlorella Vulgaris* permitió la adaptación a metales pesados como plomo y cadmio (Falkowska et al., 2011).

Juegan un rol importante en el ajuste de translocación de la regulación de la tasa de transferencia de fuente-sumidero, movilización de recursos e incremento de tasas fotosintéticas (Heumann, 1987).

- Citoquininas: Fitohormona con capacidad de inducir y estimular la división y proliferación celular, inicia y promueve la elongación de las raíces al igual que activa la senescencia de las hojas, su alta producción genera la proliferación de brotes vegetales y en asociación con auxinas mejoran y aceleran el crecimiento vegetal (Nguyen et al., 2020).

- Ácido abscísico: Estimula la maduración de las semillas y regula la transpiración celular mediante la regulación del cierre y apertura de estomas generando desequilibrio osmótico, fundamental en la respuesta frente el estrés abiótico. Relacionado a la maduración del embrión vegetal, implicada en procesos de regulación génica e induce la floración vegetal (Escáñez, 2021).

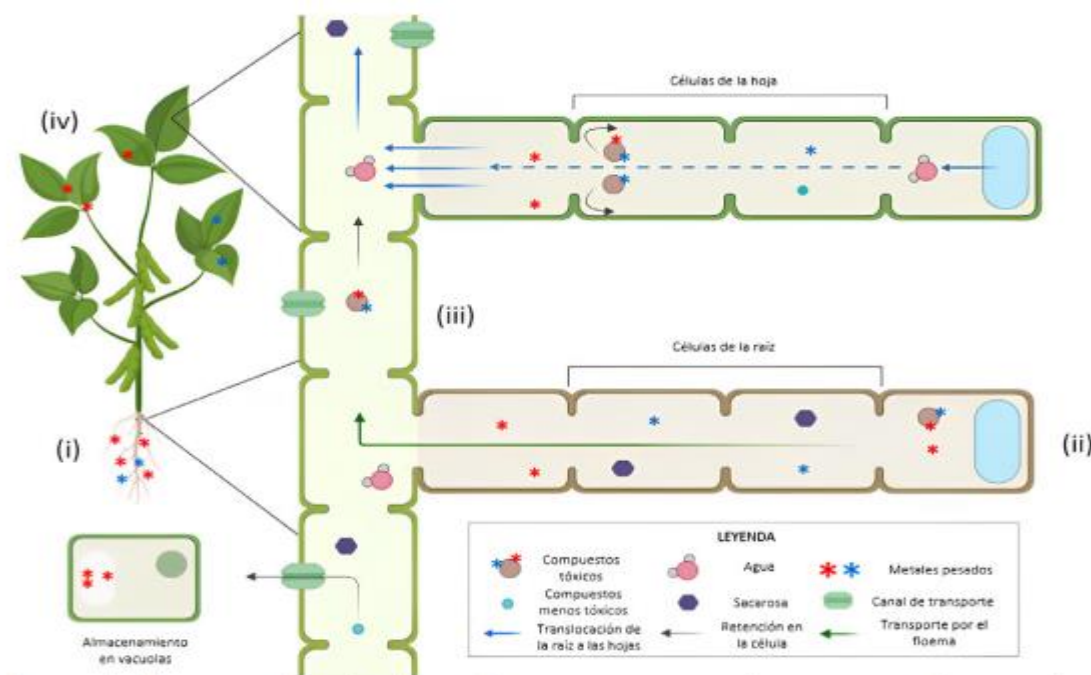
b. Mecanismos Bioquímicos de fitorremediación de metales pesados

Rascio y Navari Izzi (2011) describen los mecanismos bioquímicos para el transporte y acumulación de metales, este proceso se da gracias a proteínas transportadora de célula que unen y trasladan el ión desde el exterior al interior de la célula, se desarrolla principalmente

en la savia del xilema desde la raíz hasta las hojas, fomentado por la participación de ligando como el citrato, nicotilamina histidina y asparagina, llegando los metales de esta manera al apoplasto de las hojas donde finalmente son eliminados o transformados por las células foliares. Parte de estos mecanismos es la formación de metal-proteínas o metalotioneínas, los cuales son péptidos que generan conexión con los metales (Ver Figura 2).

Figura 2

Fitorremediación de ambientes contaminados con metales pesados



Nota. (i) Movilización de metales pesados en la rizósfera. (ii) Absorción por las raíces de las plantas. (iii) Traslocaciones de iones de metales pesados de las raíces a las zonas aéreas de la planta. (iv) Secuestro y compartimentación de iones de metales pesados en tejidos vegetales. Tomado de “Fitorremediación de metales pesados en ambientes contaminados: Una revisión” (p. 22), por Santos Ubaldo et al., 2023, *Frontera Biotecnológica* 26(4).

Otro mecanismo implica la quelación, los quelantes contienen ligandos como la histidina y citrato que se unen a iones metálicos en los que los metales combinados pierden su carga y son incapaces de reaccionar con otras sustancias disminuyendo el daño a la célula. La presencia de agentes quelantes facilitan la toma del metal del suelo a la planta, mediante el tonoplasto y las vacuolas protegiendo la actividad celular de la toxicidad producida por la presencia de metales pesados. Los agentes quelantes más conocidos son el ácido málico y ácido nítrico que son conocidos como agentes positivos para acelerar su absorción de los metales por la raíz, esos mecanismos son más notables en el transporte de la raíz al brote (Bricker et al., 2001; Maiti et al., 2004; Wu et al., 2010).

c. Enzimas y proteínas que interfieren en el proceso fitorremediador

Catalasa (CAT): La catalasa está involucrada en la destrucción del peróxido de hidrógeno, que se genera durante el metabolismo de la bacteria, el cual se transforma en agua y oxígeno, según el mecanismo general de interacción entre un sustrato (S) y la enzima (E) (Marín Arguello & Roustan Espinoza, 2000). En el proceso fitorremediador se realiza una prueba de detección para confirmar la presencia y actividad de la enzima ya que esta ayuda a proteger las células del daño oxidativo. Si al añadir peróxido de hidrógeno al extracto de la planta se observa la formación de burbujas es un indicativo de la actividad catalítica de la enzima (Soto López et al., 2015).

Se encuentra principalmente en los glioxisomas y peroxisomas, desempeña un papel crucial en la defensa contra el estrés oxidativo (Lazao Javalera, 2013). Tiende a disminuir su producción frente a niveles de contaminación por metales pesados esto debido a que busca equilibrar la proliferación de ROS originada al activar el sistema antioxidante de la planta.

Está relacionada a la autofagia durante procesos oxidativos por desequilibrio celular originado por la proliferación de ROS, ya que esta enzima se dirige a los lisosomas para su degradación (Villamarín et al., 2024; Yu et al., 2006).

Peroxidasa (POX): Las peroxidasas se encuentran distribuidas entre las partes de plantas superiores y difieren en su localización, sin embargo, suelen estar ubicadas principalmente en las vacuolas ya que requieren H_2O_2 para su actividad catalítica (Flores Cáceres, 2013). Se encargan de canalizar la oxidación de fenoles donadores de electrones en presencia de H_2O_2 , generando radicales libres. Sus funciones fisiológicas abarcan la participación en la biosíntesis de etileno, defensa contra infecciones, generación de hormonas, lignificación de la pared celular, cicatrización, crecimiento, formación celular, desarrollo de frutos y el desarrollo de mecanismos que le permitan defenderse frente a situaciones de estrés (Mejía Franco et al., 2016). Frente a la presencia de contaminantes se activa como un biomarcador que permite a la planta activar su sistema antioxidante y enfrentar la producción de ROS, se ha identificado que frente a ciertos contaminantes, la enzima se utiliza por diversas especies para producir polímeros fenólicos y atrapar Cadmio para su posterior aislamiento en las hojas (Escalante Campos et al., 2012; Prasad Vurukonda et al., 2016).

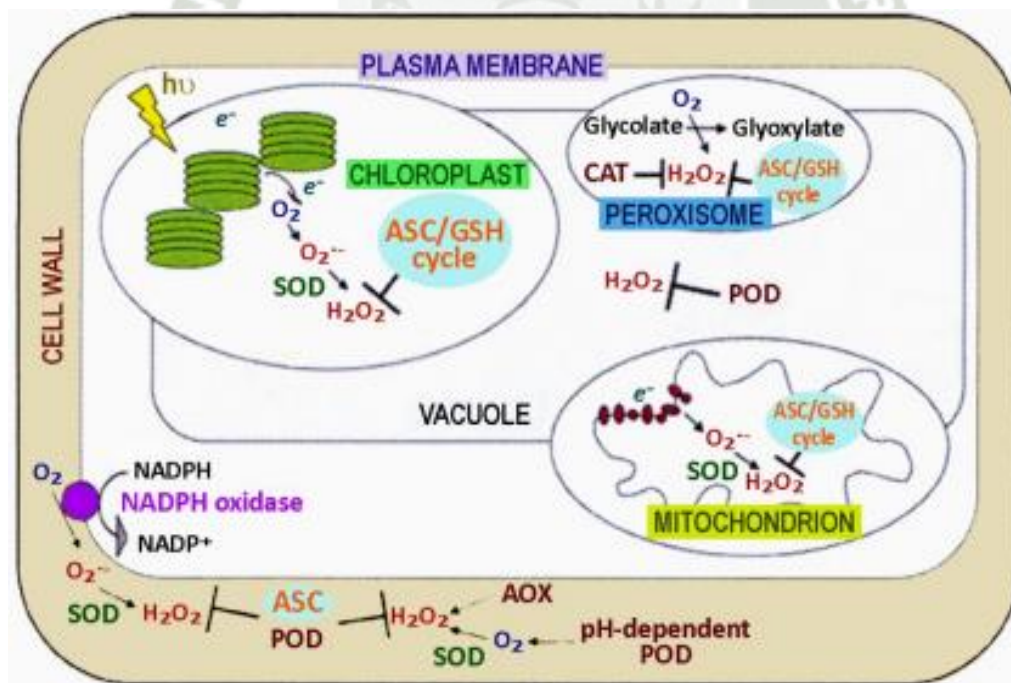
Ascorbato Peroxidasa (APX): Es una enzima clave en la reducción de H_2O_2 y el aumento de su actividad es un indicador de estrés oxidativo en las células vegetales. Se encuentra en distintos compartimentos subcelulares de la planta como mitocondrias, peroxisomas, mitocondrias y citosol (Estay Ubilla, 2015). Se identificó que al estar sometida a bajas concentraciones de contaminantes aumenta su actividad sin embargo a medida que

aumenta la severidad del tratamiento tiende a reducir su actividad hasta inhibirse (Flores Cáceres, 2013).

Metaltioneinas (MT's): Proteínas de bajo peso molecular ricas en cisteína, se dividen en tres tipos, dominios Cis-Cis, Cis-X-Cis y Cis-X-X-Cis, en donde X es cualquier aminoácido. Juegan un papel fundamental en la interacción de los microorganismos con metales, facilitando la absorción y transformación de los mismos además de quelar los metales en el citosol (Beltrán Pineda & Gomez Rodríguez, 2016; Gonzáles Mendoza & Zapata Pérez, 2008).

Figura 3

Sitios de producción, eliminación de ROS y zonas de activación de enzimas



Nota. La figura describe el sistema ascorbato peroxidasa, ASC, ascorbato; GSH, glutation; APX, ascorbato peroxidasa; SOD, superóxido dismutasa; POD, peroxidasa;

CAT, catalasa. Tomado de *Principales sitios de producción y eliminación de ROS en las células de las plantas*, De Gara et al. (2010) bit.ly/4fJTtDQ.

Interacción bacteria - planta

Las interacciones entre plantas y bacterias son producto del reconocimiento recíproco de ambas especies, esta interacción es importante ya que es responsable de los procesos biológicos esenciales para el desarrollo y protección de la planta. Se utilizan además en el proceso de fitorremediación para ayudar a la descomposición de la materia orgánica (Zheng et al., 2023).

La disponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo depende de los procesos microbianos, gran cantidad de bacterias autóctonas del suelo contribuyen a reducir los niveles de toxicidad mediante excreción de exopolisacáridos que absorben metales pesados (Comisión de Recursos Genéticos para la alimentación y la Agricultura, 2023).

Es posible seleccionar los organismos nativos más adecuados y potenciar o inducir su crecimiento mediante la estimulación de las condiciones del sitio y de sus requerimientos nutricionales para poder tener una biorremediación exitosa (Ledezma, A. 2016).

Así mismo, la absorción de metales pesados por parte de estos organismos se puede clasificar en biosorción que es independiente del metabolismo que ocurre en su mayoría en la superficie de las células y la bioacumulación que viene a ser dependiente del metabolismo, incluidos los procesos de secuestro, reacción redox y la transformación de especies (Gupta et al., 2015).

Para ejemplificar, la estructura celular de un microorganismo empleado tiene la capacidad de atrapar iones de metales pesados y absorberlos en los sitios de unión de la

pared celular, llamando a este proceso biosorción. La cantidad de metal que se absorbe dependerá del equilibrio cinético y la composición del metal en la superficie celular. Involucrando varios procesos como interacción electrostática, intercambio iónico, precipitación y formación de diferentes complejos en la superficie celular. En el caso de la bioacumulación, los iones de metales pesados pasan a través de la membrana celular hacia el citoplasma, a través del ciclo metabólico celular (Chiriví et al., 2019).

Vargas et al. (2004) describe algunas de las estrategias que se utilizan para garantizar un mejor éxito en la biorremediación son:

- a. Bioestimulación: Se enfoca en estimular los microorganismos nativos del suelo mediante la adición de nutrientes como nitrógeno y fósforo.
- b. Bioaireación: Se adicionan gases, como el oxígeno, de forma pasiva en el suelo para estimular así la actividad microbiana.
- c. Bioaumentación: Se inocula una alta concentración de microorganismos en el suelo contaminado para estimular la biodegradación.

A. Bacteria

Las bacterias son denominadas las transformadoras del planeta. Son uno de los organismos más abundantes del planeta, ya que viven en todos tipos de hábitat, fríos, calientes o ácidos. Encontrándose en las profundidades del océano y/o bajo la corteza terrestre, algunas de estas logran vivir en condiciones extremas como desechos radiactivos y el espacio exterior. Se estima que en el mundo existen 5 quintillones de estos organismos. Se caracterizan por transformar moléculas complejas a herramientas bioquímicas inocuas, siendo de gran importancia para incrementar la productividad de suelos, descontaminar

suelos con residuos de minería o presencia de metales pesados, sanear aguas residuales entre otros (Ladera Sur, 2022).

Las características que les dan ventaja para ser potenciales organismos de biorremediación son: su alta velocidad de replicación y crecimiento, variabilidad genética y su adaptación para trabajar en condiciones anaeróbicas para degradar gran cantidad de contaminantes.

Las bacterias que son empleadas en biorremediación se pueden clasificar según la Universidad Abierta y a Distancia de México (2022) en los siguientes grupos:

- **Aeróbicos:** Microorganismos que requieren de oxígeno para crecer, entre estos se encuentran: *Pseudomona spp*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus* y *Mycobacterium*, estos microorganismos han sido determinados como degradadores de pesticidas, hidrocarburos, alcanos y compuestos poliaromáticos. Usan a los contaminantes como fuente de carbono y energía.
- **Anaeróbicos:** Estos organismos son capaces de crecer en ausencia de oxígeno, las bacterias anaeróbicas son aptas para degradar bifenilos policlorados presentes en los sedimentos de ríos, y también eliminan cloro del tricloroetileno y cloroformo.
- **Metilotrofos:** Bacterias aeróbicas que crecen utilizando el metano como fuente de carbono y energía.

Tabla 6

Bacterias predominantes en suelos contaminados

Bacterias Gram Negativas	Bacterias Gram Positivas
<i>Pseudomonas spp.</i>	<i>Nocardia spp.</i>
<i>Acinetobacter spp.</i>	<i>Mycobacterium spp.</i>
<i>Alcaligenes sp.</i>	<i>Corynebacterium spp.</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Arthrobacter spp.</i>
<i>Cytophaga group</i>	<i>Bacillus spp.</i>
<i>Xanthomonas spp.</i>	

Nota. Adaptado de Fritsche & Hofrichter (2001).

Dentro de las Gram Negativas, las *Pseudomonas* son las que tienen mayor potencial de degradación, como *Pseudomona putida* y *P. fluorescens*, su potencial no depende solo de sus enzimas catabólicas sino también de su capacidad de regulación metabólica. Otros organismos de gran importancia se encuentran en los grupos de *Comamonas*, *Burkholderia*, y *Xanthomonas*, que algunas de ellas utilizan más de 100 compuestos orgánicos como fuentes de carbono. En cuanto a las Gram Negativas destacan las *Rhodococcus* y los *Corineformes* (Universidad Abierta y a Distancia de México, 2022).

a. *Pseudomona aeruginosa*: Es una bacteria considerada patógena, sin embargo, se ha reportado que varias de sus cepas tienen capacidad desintoxicante de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos (Das & Mukherjee., 2017). En la contaminación por metales pesados, *P. aeruginosa* presenta una alta capacidad bioremediativa, lo que evita que estos, en cantidades superiores a ciertos límites sean extremadamente perjudiciales para el suelo y la biota que los soporta (Awasthi et al., 2015). Demuestra capacidad de reducir Cobre (Cu) al 30% a partir de concentraciones de 160 ppm, elimina también Arsénico (As)

de aguas subterráneas en un 60%, disminuyendo así su concentración de 1,0 a 0,4 mg/l (Pellizari et al., 2015). Así mismo detecta y absorbe iones (Hg^{2+}) hasta en un 80% y actúa también sobre Cu^{2+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} y Cr^{3+} (Yin et al., 2016).

b. *Pseudomona putida*: Este género tiene la habilidad para usar sustratos creados por hidrocarburos. Son Gram negativas y pertenecientes a la subclase de Proteobacterias (Rockne et al., 2000).

Se precisa también que es un microorganismo muy versátil, con capacidad de aprovechar distintas fuentes de materia y energía, prolifera en ambientes adversos, soportando amplios rangos de pH y temperatura, por consiguiente, tiene un alto potencial biotecnológico (Lacal, 2008; Loh & Cao, 2008).

Su capacidad depuradora se potencia con la inmovilización bacteriana por adsorción, o con el uso de matrices inertes que ayuden a la generación de un biofilm, con esto la cepa adquiere una mayor tolerancia a compuestos tóxicos, y mejora la capacidad para atrapar contaminantes orgánicos (Chitiva Urbina & Dussán, 2003).

2.2.5.1. Mecanismos Bioquímicos para transformar o acumular iones metálicos

Los metales pesados se unen a la pared celular mediante diversos mecanismos que incluyen interacciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals, enlaces covalentes, interacciones redox y precipitación extracelular; los grupos cargados de negativamente absorben iones metálicos y los retienen, logrando así bioacumularse. El inicio de este sistema de transporte, internaliza el metal pesado generando un consumo de energía por parte de la H^+ -ATPasa, el metal pesado es incorporado al citoplasma y es secuestrado por proteínas ricas en grupos sulfhídricos llamadas metalotioneínas y fitoquelatinas, las cuales

facilitan la absorción y transformación del metal (Marrero Coto et al., 2010; Rajendran et al., 2003).

a. Transformación mediada por enzimas

Entre las transformaciones enzimáticas se refieren procesos de oxidación, reducción, demetilación y metilación, los cuales generan como resultado compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles. Si un metal no logra ser reducido por vías celulares o buscar la reducción no es beneficioso para el medio, puede ser acomplejado o transportado al exterior, en casos especiales se dan ambos procesos. La enzima cromato reductasa actúa para eliminar la toxicidad del Cr (VI) al reducirlo a Cr (III) (Marrero Coto et al., 2010); incrementando la movilidad y disponibilidad del metal. La reducción abiótica se presenta cuando hay fuente disponible de electrones Fe (II) y el proceso tiene condiciones aeróbicas o anaeróbicas favorables, además de materia orgánica como fuente de electrones (Beltrán-Pineda & Gomez Rodríguez, 2016). Se han reportado otras reductasas celulares que realizan la reducción del cromo como la DT-diaforasa, aldehído oxidasa, citocromo P450 y algunas nitroreductasas (Marrero Coto et al., 2010).

2.2.5.2. Mecanismo de precipitación química extracelular

Los microorganismos liberan sustancias ligadoras de metales, van desde ácidos orgánicos simples polisacáridos, ácidos húmicos, fúlvicos y alcoholes. Los estudios demuestran que los grupos fosfato son el principal lugar de unión de cationes en la pared celular de la gram negativas (Wu et al., 2010).

Pseudomona spp. está caracterizada por la producción de moléculas acomplejantes de hierro conocidas como sideróforos, muchas de ellas tienen alta afinidad por metales pesados, Gilis et al. (1996) reporta que la síntesis de sideróforos está mediada por altas

concentraciones de hierro. Por otro lado, disminuyen la solubilidad y movilidad de los metales, disminuyendo su fitotoxicidad por la producción de biosurfactantes, conocidos como ramnolípidos, para la remediación de suelos contaminados con Cd y Pb (Osorio Ravelo, 2018).

2.2.5.3. Factores climáticos influyentes en la fitorremediación con *Pseudomona spp.*

Humedad: *Pseudomona spp.* requiere condiciones de humedad mínimas para su crecimiento y desarrollo, requiriendo disponibilidad suficiente del medio hídrico para su proliferación debido a que esta actúa como medio de transporte de oxígeno y nutrientes en la célula. Se busca tener valores de capacidad de campo en suelo entre el 25% y 75%. Estudios refieren que la tasa óptima de biodegradación se presente en tasas de saturación del 30% al 90%. Bajos valores de humedad limitan la actividad metabólica microbiana y valores muy altos, impiden la transferencia de gases a través del suelo (Gómez et al., 2008).

En las plantas que enfrentan estrés hídrico se reorganizan procesos fisiológicos, generando respuestas de prevención y tolerancia, en el caso de las primeras son clasificadas como “homeohídricas” debido a su capacidad para regular su transpiración y evitar daños al xilema. Sin embargo, por el lado de las especies tolerantes, se denominan “poiquilohídricas”, capaces de soportar deshidrataciones sin sufrir mayores daños y generando capacidad rápida de recuperación frente a la sequía (Carrasco Sánchez, 2017; Guzmán Castro et al., 2022).

Temperatura: Los procesos de fitorremediación son más eficientes cuando se desarrollan en temperaturas más cálidas (20°C y 40°C) permitiendo mayor actividad microbiana. Para el crecimiento de *Pseudomona spp.* en climas tropicales se recomienda un rango de temperaturas entre 30°C a 35°C, si los valores llegan a 0°C el proceso se detiene y cuando se superan los 40°C se da una disminución de la actividad microbiana. Sin embargo,

hay que resaltar que *Pseudomonas spp.* es caracterizada como un microorganismo euritérmico, por lo cual es capaz de adecuarse a los cambios del medio sin alterar su funcionalidad (Gómez et al., 2008).

En el caso de las especies vegetales relacionadas, se debe mantener rangos constantes que favorezcan el crecimiento, se ha reportado que a temperaturas mayores a 30°C la fotosíntesis tiende a inhibirse, además que el calor intenso afecta el contenido de agua y el CO₂ presentes en tejidos aéreos (Guzmán Castro et al., 2022).

Contenido de sales: Las sales presentes en el medio condicionan los niveles de estrés en las plantas y microorganismos, debido a que tienen a limitar el movimiento de agua y nutrientes desde la absorción en las raíces, ocasionando marchitez. Las sales presentes son una combinación de sodio, calcio, potasio, magnesio, cloruro, nitratos, carbonatos, sulfatos y bicarbonatos (Guzmán Castro et al., 2022).

2.2.5.4. Asociaciones bacteria – hongo como potenciadores de la Fitorremediación

Riopedre-Galán et al. (2019) menciona que la sinergia micorrízica en los ecosistemas, es una adaptación de las plantas a diferentes tipos de estrés, debido a que promueve la absorción de agua y nutrientes, generando bioprotección de otros patógenos.

Los hongos micorrízicos juegan un rol fundamental en el proceso de fitorremediación en la disminución de la toxicidad de suelos. En el caso del Pb, tienden a demostrar mayor captación de metales pesados por medio de la raíz y aumentar la traslocación de los metales a la parte aérea del individuo, mientras que en otros casos apoya en la inmovilización del metal mediante la raíz o en el suelo. Secretan agentes potenciales de retención en el micelio, como son las metalotioneínas, polipéptidos capaces de adsorber metales pesados (Alvarado et al., 2011).

Hongos presentes en suelos contaminados con metales pesados tienden a ser utilizados como biomarcadores de contaminación, debido a sus variados niveles de tolerancia (Riopedre-Galán et al., 2019). Forman relaciones con casi todas las plantas y se asocian a consorcios bacterianos para mejorar el desarrollo vegetal, aumentar la captación de nutrientes y absorción mineral, incrementan la tolerancia y resiliencia frente a situaciones de estrés abiótico como la sequia, salinidad, y toxinas por metales pesados (Sri & Al-Najar, 2024).

Diversos estudios señalan la asociación micorrízica de *Glomus intrarradices* y *Vetiveria zizanioides* como un sistema de alta tolerancia de Cd y Pb, demostrando valores altos de acumulación de Pb en las raíces de la especie. Los mecanismos de transporte de plomo en el micelio interno sugieren que se dan por acción del fósforo (Alvarado et al., 2011).

Si se establecen estrategias de análisis mediante las cuales se unen las capacidades bacterianas y la relación hongo-planta, se da la producción de sideróforos, por ejemplo, el hidroxamato presente en bacterias y hongos, se consideran quelantes orgánicos, los cuales se unen a metales pesados, además del hierro, como el zinc, cobre y níquel, protegiendo a otros organismos de la toxicidad de los mismos (Raklami et al., 2022).

Oshiquiri et al. (2020) menciona que el género *Trichoderma* inmoviliza los metales mediante mecanismos bioquímicos que favorecen la quelación, acumulación y biosorción, además de modificar el estado de oxidación de ciertos metales como el cobre, zinc, plomo y cadmio. Logró remociones del 84.6% de cobre en rangos de pH entre 5-8, 84.73% de selenio y en asociación a *Aspergillus favulus* se reportaron valores de remoción mayores al 40% para plomo y mayores al 20% para cadmio.

2.2.5.5. Microorganismos autóctonos y fitorremediación

La utilización de bacterias autóctonas o nativas capaces de capturar y absorber metales pesados propias del lugar de estudio, radican su importancia en evitar la introducción de nuevos microorganismos exógenos evitando generar competencia entre comunidades bacterianas y aumentar la eficiencia de la fitorremediación mediante el uso de microorganismos que ya se encuentran adaptados a las condiciones y que pueden volver a su estado inicial antes de la contaminación sin modificar perjudicialmente el medio del cual provienen (Bóto et al., 2021).

Proporcionan funciones de regulación del crecimiento vegetal, control de plagas, mantenimiento de la estructura del suelo, reciclaje y transformación de nutrientes y contaminantes, mejora la capacidad de retención de agua, mejora la aireación en las raíces favoreciendo el intercambio gaseoso, aumenta la adquisición de nitrógeno, activa los sistemas de respuesta antioxidante mediante la mayor liberación de enzimas (CAT, APX, POD, SOD) previene la erosión del suelo (Egamberdieva et al., 2017; Lakshman Kumar & Sai Gopal, 2015; Montreemuk et al., 2024).

Diversos estudios analizan los beneficios de la inoculación de microorganismos nativos para aumentar la eficacia de la fitorremediación, en el caso de la inoculación de *P. extremorientalis* y *Mezorhizobium sp. NWXJ31* en el regaliz demostró un aumento en la producción de clorofila a y b, mejor transporte de electrones fotosintéticos en condiciones de estrés hídrico y reducción de H_2O_2 mediante la liberación de enzimas reguladoras (Egamberdieva et al., 2017). En el estudio de la inoculación de *S. integra* para la remoción de suelos contaminados con Pb mediante el análisis de rizósfera nativa, demostró mayores niveles de remoción de Pb del suelo y acumulación en la biomada de la planta (Xiaoyun

et al., 2020). Para el análisis de la fitorremediación de *H. annuus L.* y especies bacterianas nativas en suelos contaminados con gasolina, se observó tolerancia hasta 3200 mg/kg de gasolina en el medio y remoción del 50% del contaminante con microorganismos nativos tales como *Bacillus*, *Streptomyces* y *Pseudomonas* (Almazán et al., 2024).

Disposición de productos finales

El destino final de la biomasa que acumuló los metales pesados del suelo tienden a convertirse en nuevos focos de contaminación para el ambiente (Chávez Rodríguez, 2014). Diversos autores plantean propuestas de utilizar la biomasa como fuente de energías renovables (Meers, 2005), o ser deshidratadas y dispuestas en rellenos sanitarios para residuos peligrosos e incluso utilizar las cenizas para recuperar el metal extraído (Amoné Luna & Barja Peña, 2019).

2.3. Marco Legal

Marco Legal Nacional

Ley General del Ambiente N° 28611. Establece la normativa legal, principios y normas básicas para asegurar el ejercicio del derecho a un ambiente adecuado y equilibrado, describe la relación entre entidades que ejercen funciones en materia de protección de recursos, calidad de suelos y agua, salud ambiental y diversos factores.

Decreto Supremo N° 011 - 2017. Estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo. Establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo en su condición receptora que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

Decreto Supremo N° 012 - 2017 - MINAM. Criterios para la gestión de sitios contaminados. Establece los criterios para la gestión de sitios contaminados generados por actividades antrópicas, y comprende aspectos de evaluación y remediación que son regulados por las actividades competentes con el fin de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental N° 27446. Establece el sistema de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos como producto de las acciones humanas, su finalidad es la creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA).

Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Aplicable a empresas privadas y públicas dentro del país que se dediquen a estas industrias, se recalca que la información generada será basada en monitoreos y estudios ambientales procedentes de acciones de fiscalización ambiental.

Ley marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental N° 28245. Establece el Sistema Nacional de Gestión Ambiental que tiene como objeto asegurar el cumplimiento de objetivos ambientales de entidades públicas y busca fomentar el fortalecimiento de mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental.

Estándares internacionales de contenidos máximos permisibles

Canadá: El Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) desarrolla dentro de todos los temas que abarca, pautas que demarcan concentraciones máximas permisibles para metales presentes en suelos agrícolas y no agrícolas, tomando en

cuenta la protección del ecosistema y la salud humana. Al desarrollar estándares de calidad ambiental se crean las “Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) que fomentan acciones conjuntas basadas en análisis científicos para monitorear la calidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres (CCME, 2007).

Cataluña: El Decreto Legislativo 1/2009 del 21 de julio, establece la Ley Reguladora de los Residuos para Cataluña, con el objetivo de consolidar y actualizar la normativa sobre la gestión de residuos en la comunidad, unificando las disposiciones previas publicadas y adaptando nuevas directivas europeas en materia de residuos (Portal Jurídico de Cataluña, 2009).

Madrid: La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio dispone establecer los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en los suelos de la Comunidad de Madrid, tomando como base de análisis los criterios establecidos en el Decreto 9/2005, en el cual se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2006).

México: Norma Oficial Mexicana que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por metales pesados tales como: arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio y vanadio. Su principal objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos negativos producidos por altas concentraciones de metales (SEMARNAT & SSA, 2004).



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicativo con enfoque cuantitativo, ya que se obtendrán datos numéricos para interpretar los fenómenos en base a los resultados de la observación en el campo mediante análisis estadístico para probar hipótesis (Hernández Sampieri et al., 2018). Se desarrollará en el departamento de Arequipa, provincia Arequipa, ciudad de Arequipa, empleando suelos de terrenos circundantes al área del PIRS, por lo que será necesario validar el mejor método de remediación resultante en la investigación para condiciones in situ de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr).

De alcance correlacional ya que no será una investigación descriptiva, se determinará la relación positiva o negativa entre las variables presentes en el proyecto. Realizándose además según un mismo patrón para el mismo grupo de estudio.

3.2. Diseño experimental

El desarrollo de la parte experimental se realizará bajo condiciones controladas, el suelo del Parque Industrial Río Seco es de dónde se obtendrá 30 kg de muestra, las diferentes unidades experimentales corresponden a 27 cajas, las cuales estarán organizadas según el nivel de concentración de suelo contaminado agregado.

Además, se realizará el riego tres veces por semana con agua corriente para cubrir la necesidad media de agua (500 a 600 mm por plántula) (Cherlinka, 2023), y se inoculará 2 veces por semana con un inóculo de 2 ml de bacterias autóctonas con una concentración de 1.5×10^8 cel/ml, las cuales fueron aisladas previamente para promover el crecimiento vegetal.

Se plantea que el diseño experimental sea al azar, con alrededor de tres repeticiones disponiéndose en un diseño factorial de 3x3.

- Porcentaje de suelo contaminado: 0%, 5%, 10%
- Tipo de bacteria: Control, Bacteria autóctona 1, Bacteria autóctona 2
- Repeticiones: 3 por cada combinación de tratamiento

a. Factores y niveles

- Factor A (Porcentaje de suelo contaminado): 0%, 5%, 10%
- Factor B (Tipo de bacteria): Control, Bacteria autóctona 1, Bacteria autóctona 2

b. Combinación de tratamientos

Cada nivel del Factor A se combinará con cada nivel del Factor B, dando un total de 9 combinaciones.

El número total de unidades experimentales (N) se calcula mediante

$$N = (\text{Niveles del Factor A}) \times (\text{Niveles del Factor B}) \times (\text{N}^\circ \text{ de repeticiones}) \quad \text{Ec. 2}$$

$$N = 3 \times 3 \times 3 = 27$$

Por lo tanto, el experimento contará con 27 unidades experimentales

Para:

- **T0** (cultivo de *Helianthus annuus L.*, suelo contaminado al 0%, tierra de jardín, enmienda de compost al 2%, inóculo de bacterias autóctonas)
- **T1** (cultivo de *Helianthus annuus L.*, suelo contaminado al 5%, tierra de jardín, enmienda de compost al 2%, inóculo de bacterias autóctonas)
- **T2** (cultivo de *Helianthus annuus L.*, suelo contaminado al 10%, tierra de jardín, enmienda de compost al 2%, inóculo de bacterias autóctonas)

Todo esto basándonos en el experimento aplicado por Waseem et al. (2024), pudiendo establecer las bases para la realización del bioensayo.

Además, con el fin de obtener datos más exactos, se aplicarán pruebas de normalidad, homocedasticidad, pruebas paramétricas y no paramétricas como las siguientes:

Prueba de normalidad Shapiro - Wilk

Esta prueba ayuda a determinar si un conjunto de datos sigue una distribución normal o se desvía significativamente de ella (Pedrosa et al., 2015). Se aplica a muestras pequeñas como este caso y su hipótesis nula es que los datos provienen de una población normalmente distribuida. Si p -valor $< \alpha$ (0.05), se rechaza la hipótesis nula, sugiriendo que los datos no están o son normalmente distribuidos.

Prueba de Homocedasticidad

Amat (2016), describe que esta prueba evaluará si la varianza de los residuos o errores es constante a lo largo de los niveles de las variables independientes. Si p -valor $< \alpha$, se rechaza la hipótesis nula, indicando que hay evidencia de heterocedasticidad (varianzas no constantes). Si los grupos con muestras pequeñas tienen mayor varianza, la probabilidad de cometer un error de tipo I en los contrastes de hipótesis será menor de lo que se obtiene al hacer el test. En los intervalos, los límites superior e inferior reales son menores que los que se obtienen. Pero, si los grandes son los que tienen mayor varianza, se tendrá el efecto contrario y las pruebas serán más liberales. Es decir, la probabilidad real de cometer un error de tipo I será mayor que la devuelta por el test y los intervalos de confianza verdaderos serán más amplios que los calculados.

Análisis ANOVA y aplicación de Prueba Tukey

Delgado (2022) reporta que el análisis ANOVA nos permitirá determinar si los diferentes tratamientos tienen diferencias estadísticas significativas. La hipótesis nula

postulará si todas las medias de la población son iguales, y la hipótesis alternativa establecerá si es que al menos una es diferente.

- Hipótesis alterna: No hay una diferencia estadística significativa entre tratamientos y repeticiones.
- Hipótesis nula: Existe una diferencia estadística significativa entre tratamientos y repeticiones.

Para poder rechazar la hipótesis nula se deberá seguir unas reglas de decisión:

- Si el p - valor es mayor que el nivel de significancia (α), se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de la F calculada es menor que la F tabulada, se rechaza la hipótesis nula.

Para la evaluación del efecto de la fitorremediación asistida mediante la inoculación de bacterias autóctonas a *Helianthus annuus L.*, se implementó el modelo estadístico ANOVA (Análisis de varianza) en el software Minitab, en donde las diferencias de medidas se establecerán mediante el Test de Tukey ($p < 0.05$).

La prueba de Tukey tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de distintas muestras sometidas a diferentes tratamientos, permitiendo discernir entre los resultados obtenidos y su nivel de significancia (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2024).

El nivel de significancia para la prueba es de 95%.

Tabla 7

Relación de hipótesis

Hipótesis	Relación
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Nota: Adaptado de Soporte Minitab (2024).

Tabla 8

Descripción de Ventajas y Desventajas del método

Ventajas	Desventajas
<p>Tiene flexibilidad y precisión, se puede usar cualquier número de tratamientos y réplicas siempre y cuando se tengan las suficientes unidades experimentales homogéneas.</p> <p>Es un análisis estadístico simple ya que puede realizarse cuando todos los tratamientos tengan un número igual de réplicas de forma balanceada o diferente número de réplicas cuando es desbalanceado.</p>	<p>Los resultados pueden ser de baja precisión si las unidades experimentales no son muy homogéneas (Soto, 2015).</p>

Nota: Adaptado de Soto (2015)

Al tratarse de una investigación cuantitativa se determinó como variables independientes al porcentaje de suelo contaminado (0%, 5% y 10%) y la Presencia y/o ausencia de bacterias autóctonas (bacteria A y bacteria B), y como variables dependientes Longitud de tallo y raíz, Conteo de hojas, Contenido relativo de agua, Contenido de clorofila

total y carotenoides, y Actividad proteica y enzimática. Así mismo, según la clasificación de los datos de investigación se concluye que los datos son observacionales y experimentales.

3.3. Método de la investigación

Área de estudio

La presente investigación de tipo experimental obtendrá información del área Parque Industrial de Río Seco, en el distrito de Cerro Colorado, Arequipa. Esta zona será nuestra área de interés y el área impactada por los efluentes industriales que provienen de los procesos de curtidos y demás, será determinada por los siguientes puntos de monitoreo:

- Punto A: Canal alimentador de la primera laguna de oxidación
- Punto B: Bordes circundantes a la segunda laguna de oxidación
- Punto C: Fisura del canal principal de efluentes
- Punto D: Quebrada Estanquillo

Tabla 9

Ubicación del área de estudio

Puntos	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m)
	Latitud	Longitud	
A	-16.36253384	-71.60343111	2443.9 m.s.n.m
B	-16.36353871	-71.60743278	2426 m.s.n.m
C	-16.36386966	-71.607195212	2420.3 m.s.n.m
D	-16.36655856	-71.60914532	2405.9 m.s.n.m

Haciendo énfasis en que el punto A, vendría a ser el canal alimentador de la primera laguna de oxidación construida por el Gobierno Regional de Arequipa, ésta tiene un perímetro de 419 m aprox, y un área de 11700 m², su capacidad de almacenamiento ha superado el 100% por lo que sus efluentes han sido desviados. El flujo constante de estos efluentes ha hecho su curso a la segunda y tercera laguna de oxidación, ambas estructuras no permeabilizadas logrando infiltrarse y generar un canal que desemboca en la Quebrada Estanquillo que vendría a ser nuestro punto D (Ver Figura 4).

Figura 4

Puntos de muestreo en Parque Industrial Río Seco



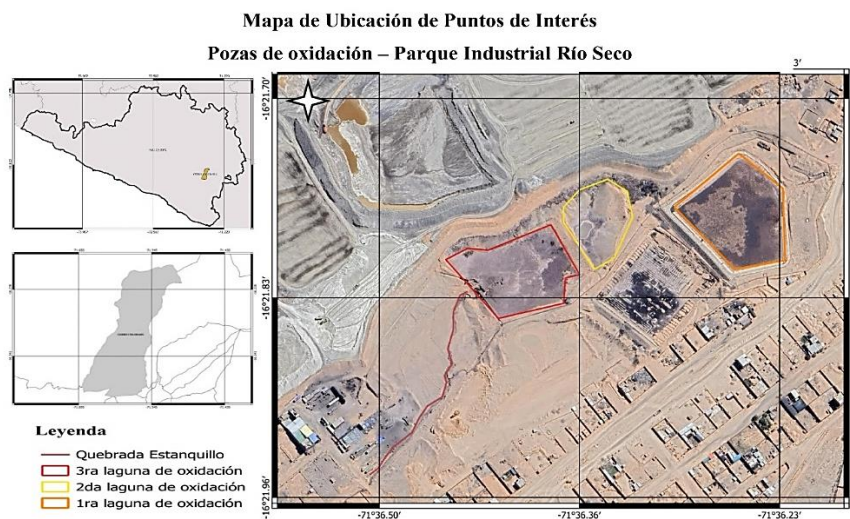
Nota. (A) Canal alimentador de la primera laguna de oxidación. (B) Bordes circundantes a la segunda laguna de oxidación. (C) Fisura del canal principal de efluentes. (D) Quebrada Estanquillo.

A. Ubicación

El Parque Industrial Río Seco (PIRS) se encuentra ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa. Es la zona industrial más antigua e importante de la ciudad de Arequipa, posee 52 hectáreas en las inmediaciones de la carretera Panamericana, variante de Uchumayo (Zevallos, 2014).

Figura 5

Delimitación del área de interés (Parque Industrial Río Seco)



Nota. Elaboración propia.

B. Suelo

La textura del suelo en el PIRS es arenoso franco y con presencia de materia orgánica de media a baja. El pH de los suelos tiene un rango de 6,90 a 7,18, además presentan un pH que tiende a la neutralidad. Cabe recalcar que estos suelos son regados con aguas residuales que los contaminan con metales pesados como As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn entre otros (Llerena Paco et al., 2016).

C. Clima

Es una región yunga árida, que presenta un clima cálido moderado, con precipitaciones pluviales escasas, con vientos de moderada baja intensidad con ausencia de turbulencias, la dirección predominante de los vientos es de suroeste a noreste con velocidades de hasta 12 m/s y la velocidad mínima de 3 m/s. La característica de sequedad del clima genera la formación de heladas en los meses más secos. La luminosidad es alta en la zona y se encuentra uniformemente distribuida durante todo el año, con promedios de nueve horas diarias, sin embargo también existe incidencia de radiación ultravioleta que se encuentra por encima de la escala en los meses de octubre y noviembre, además de presentar variaciones en la temperatura que van desde los 6°C y 25°C (Municipalidad Distrital de Cerro Colorado, 2018; Trujillo, 2007).

D. Hidrología

Las aguas superficiales se encuentran determinadas por las precipitaciones pluviales que tienen mayor incidencia en los meses de noviembre a marzo; y las aguas subterráneas se filtran lentamente a través de la porosidad y permeabilidad que presenta las ignimbritas, constituyendo un acuífero superficial sobre la ignimbrita blanca, la profundidad y espesor varían dependiendo de la topografía. Además al ser vertidas las aguas industriales provenientes de las curtiembres del PIRS son vertidas al cauce de la quebrada de Añashuayco contaminando todo el recurso hídrico, con un alcance de hasta 3km, existiendo una gran probabilidad de que las aguas subterráneas sean contaminadas (Trujillo, 2007).

E. Sistema de riego

Existen manantiales procedentes de las napas freáticas que se encuentran en la zona del Chachani y de las filtraciones de las irrigaciones de Zamácola y el Cural, que tiene

presencia de un sistema de riego por gravedad, las aguas que no son aprovechadas totalmente se infiltran en su mayoría y afloran por el fisuramiento de la ignimbrita blanca presente que son aprovechadas por la agricultura que se desarrolla cerca de su confluencia con el Chili (Trujillo, 2007).

F. Agricultura

El Parque Industrial Río Seco abarca aproximadamente 200 hectáreas que se distribuyen en 3 etapas, colinda con zonas agrícolas de la irrigación Zamácola en la que se desarrolla agricultura limitada en laderas y quebradas (OEFA, 2017).

G. Industria

El Parque cuenta con más de 57 empresas dedicadas al ámbito de las curtiembres, divididos en dos etapas ocupadas por la Asociación de la Pequeña Microindustria Señor de Gran Poder, Asociación de Pequeños Granjeros Canterilla y la Asociación de Artesanía Virgen de Copacabana representadas por la Asociación de Empresarios del Parque Industrial de Río Seco (OEFA, 2017).

En el lugar se emplazan empresas dedicadas a actividades de curtiembres y distintos rubros del sector industria, las actividades económicas basadas en el “padrón general por ubicación, áreas, actividad económica de la ADEPIRS, las curtiembres abarcan el 53%, las fábricas de cola industrial el 7%, almacenes el 6%, fábricas de zapatos, zapatillas y suelas el 3%, productos químicos el 3%, fabricación de productos farmacéuticos el 2%, metal mecánica el 2% y otros el 24% (OEFA, 2017).

Materiales y Equipos

Tabla 10

Relación de materiales, equipos, herramientas y material biológico de la investigación

Gabinete	Campo	Laboratorio
Materiales	Materiales	Materiales
Cuaderno de apuntes	plano del lugar	probeta
hojas bond	rotulador permanente	tamiz #10
bolígrafos	etiquetas	tabla Munsell
Cuaderno de campo	formatos de campo	pizeta con agua
Memoria de cámara	hojas bond	crisoles
	tablero de madera A4	espátulas
	bolígrafos	vasos de precipitado
	fichas de registro	matraz Erlenmeyer
	bolsas ziploc	papel filtro
	lampa	varilla metálica
	barrena	pinzas
	pico	cucharas
	pabito	cápsulas de porcelana
	martillo	embudo
	goma sintética	cámara Neubauer
	balde	tubos de vidrio
	cinta métrica	tamiz #2
	balanza	pipeta
	clavos	propipeta
	plástico grueso	mortero
	espátula	placa petri
	botellas de agua	recipientes de vidrio
	rastrillo	ámbar
	Balanza de 180 kg	asa de siembra
		mechero
		tubos inclinados
		portaobjetos
		mechero

Programas	Materiales Biológicos	Reactivos y Material Biológico
<ul style="list-style-type: none"> - Software Minitab - Microsoft Word - Microsoft Excel 	<ul style="list-style-type: none"> - muestras de suelo contaminadas - semillas - compost 	<ul style="list-style-type: none"> - agua destilada - alcohol amílico - agar extracto de suelo - agar - agar - agar nutritivo - etanol 95% - ácido fosfórico - ácido ascórbico - tampón fosfato de sodio - cristal violeta - lugol - alcohol-acetona - safranina - agua peptonada estéril - acetona 80% - Guaiacol
Equipos	Equipos	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> - Laptop - USB - Impresora - Memoria de cámara 	<ul style="list-style-type: none"> - cámara fotográfica - GPS 	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara fotográfica - Espectrofotómetro de UV Visible - pHmetro - Balanza de precisión - Estufa de cultivo - Termómetro - Agitador mecánico - Microscopio óptico - Mufla - Campana de desecación - Horno de desecación - Conductímetro - Centrifugadora - Vortex

EPP (Equipo de Protección Personal)

- guantes de látex
 - guantes de jardinería
 - guantes térmicos
 - mascarilla quirúrgica
 - zapatos cerrados
 - lentes de seguridad
-

Métodos Analíticos

Según la Guía de muestreo de suelos establecida bajo el D.S. N° 002-2013 MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, las muestras fueron extraídas de manera superficial, la profundidad de muestreo para suelos comerciales, industriales y/o extractivos establece de 0 a 10 cm para profundidad de aradura, al realizarse Muestreo de identificación (MI) de acuerdo al área de interés se tomarán 4 puntos de muestreo en áreas estratégicas (MINAM, 2014).

El primer punto de monitoreo se localizó en los bordes del canal alimentador de la primera laguna de oxidación (A), el segundo punto en bordes cercanos a la segunda laguna de oxidación (B), el tercer punto será en una fisura del canal principal que transporta efluentes debido a considerarse el primer punto de confluencia directa entre los contaminantes y el área, y el cuarto punto de monitoreo estará ubicado en el inicio de la quebrada Estanquillo (D) debido a ser un punto crucial en el que el área urbana y agrícola convergen.

Al trabajar con suelo contaminado con metales se utilizaron utensilios de plástico: picos, palas rectas y curvas, barrenas, cinta métrica y planos de la zona de ubicación para el muestreo, además de una cámara fotográfica que sirvió de registro de las actividades a realizar.

El traslado al laboratorio se realizó en bolsas de polietileno denso (500 g), el etiquetado de las muestras señaló el lugar de muestreo, nombre del proyecto, fecha y hora de muestreo, nombre del encargado de tomar la muestra además de la cadena de custodia y las copias solicitada con toda la información referente al muestreo.

Para el análisis en laboratorio, las muestras fueron cuarteadas, extraídas y homogeneizadas hasta conseguir una muestra representativa de 500 g.

3.3.3.1. Determinar el estado del suelo y concentración inicial de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

3.3.3.1.1. Análisis de pH inicial en suelo

La muestra de suelo fue secada, molida y cernida con tamiz N°10. Se analizó el pH de las muestras de suelo mediante el método EPA 9045D Rev. 4 Soil and Waste pH. Se pesaron 20 gramos de suelo en un vaso precipitado de 50 ml, al que se agregaron 20 ml de agua destilada hasta cubrir todo el sólido el cual fue agitado por 5 minutos de manera continua. La muestra reposó por 15 minutos para permitir que las partículas suspendidas de la muestra sedimenten para medir el pH. Finalmente, se colocó el electrodo previamente lavado con agua destilada en el vaso precipitado para el análisis correspondiente (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2017).

Figura 6

Análisis de pH realizado a muestra inicial de suelo



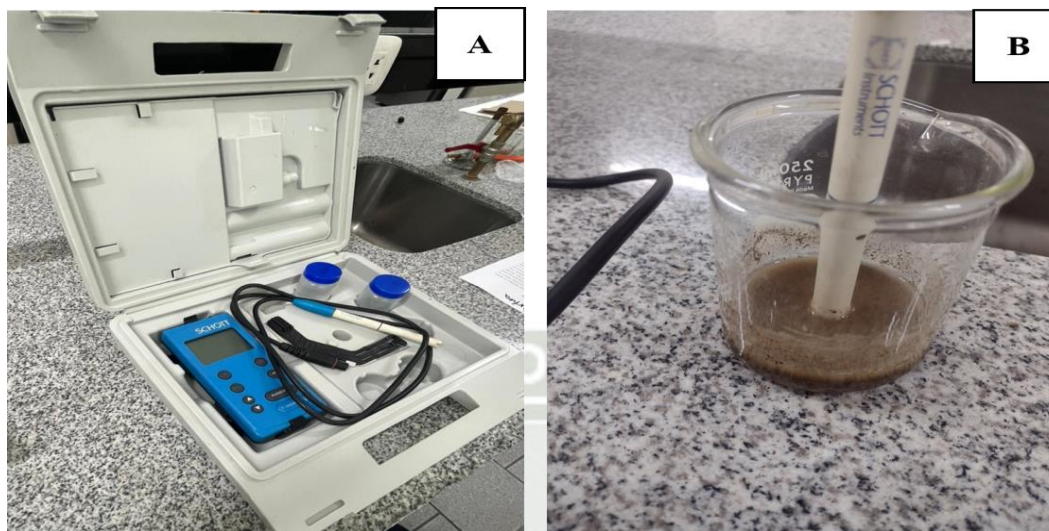
Nota. Muestra de suelo representativa analizada con medidor multiparamétrico HI 2020-01.

3.3.3.1.2. Determinación de conductividad eléctrica

Se pesaron 20 g de suelo seco al aire en una balanza de precisión, y posteriormente se introdujeron en un vaso Beaker al que se añadieron 100 ml de agua destilada. La mezcla se llevó a un agitador mecánico durante 30 minutos para filtrar y extraer una alícuota de la solución. Finalmente, se midió la conductividad eléctrica de la alícuota con un conductímetro (Universidad Politécnica de Valencia, 2018).

Figura 7

Determinación de conductividad en suelos



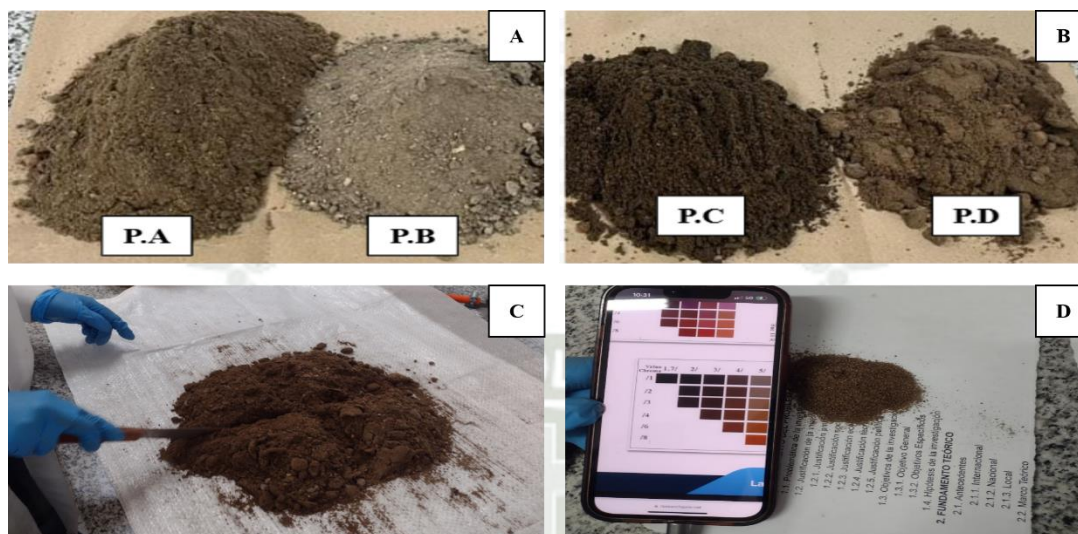
Nota. (A) Conductímetro calibrado modelo GLP handylab LF 12 (B) Muestra representativa de suelo analizada.

3.3.3.1.3. Observación de color de suelo

Se utilizó la Tabla de colores de Munsell para suelos, la cual cuenta con 199 cuadros coloreados distribuidos por Hue, Value y Cromo (matiz, brillo y saturación), por lo cual se pesaron 20 g de la muestra para ser comparada en seco y húmedo (adicionando 5 gotas de agua) y se registró el código de color.

Figura 8

Análisis de color de suelos mediante Tabla de Munsell



Nota. (A) y (B) muestras representativas de suelo de los 4 puntos de interés. (C) Muestra representativa resultante de la combinación de los puntos de interés. (D) Análisis de color mediante tabla de Munsell de muestra representativa final.

3.3.3.1.4. Análisis de textura de suelo

Se utilizó el método del tamizado, se obtuvo una muestra de suelo, que fue previamente secada en estufa a 100 °C por 24 horas, fue unificada y molida. La muestra pasó por una serie de tamices de 850 μm , 250 μm y 150 μm por 10 minutos. Se pesó el material acumulado en cada tamiz para calcular el porcentaje de suelo acumulado y la distribución de tamaño de partículas en la muestra (Gutierrez, 2023). Se utilizó el triángulo de texturas de suelo y la tabla de clasificación americana de texturas y tipos de suelos para clasificar los resultados (Ver Tabla 10).

Tabla 11

Tipos de suelo y texturas según la clasificación americana

Tipos de suelo	Textura	Relación arena-limo-arcilla (%)	Símbolo
Livianos	Arenoso	90-5-5	a
	Arenoso franco	80-15-5	aF
Medios	Franco arenoso	65-25-10	Fa
	Franco	40-40-20	F
	Franco limoso	20-65-15	FL
	Franco arcilloso arenoso	35-35-30	FAa
Pesados	Franco arcilloso	35-30-35	FA
	Franco arcilloso limoso	10-35-55	FAL
	Limoso	10-85-5	L
	Arcilloso arenoso	55-5-40	Aa
	Arcilloso limoso	5-50-45	AL
	Arcilloso	10-20-60	A

Nota. Clasificación de los tipos de suelo y sus clases texturales relacionados al porcentaje de fracciones de arena, limo y arcilla. Adaptado de Ciancaglini- Prosap (2023)

Figura 9

Análisis de textura mediante el procedimiento de tamizado



Nota. Muestra de suelo pasada por tamiz 250 μm .

3.3.3.1.5. Análisis de plomo y cromo inicial en suelo

Se extrajeron 500 gramos de suelo de cada uno de los puntos de muestreo y fueron analizados en los laboratorios SGS del Perú S.A.C. mediante el método ES_EPA 3051_6020.

3.3.3.2. Seleccionar bacterias autóctonas y germoplasma vegetal con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

3.3.3.2.1. Aislamiento e identificación de bacterias autóctonas

Para la identificación, aislamiento y selección de bacterias autóctonas del sitio de muestreo en Parque Industrial Río Seco, se pesaron 10 g de muestra de suelo que fue sometido a diluciones seriadas en suero fisiológico de $10^2 - 10^5$, para inocular 1 ml de la

disolución en 3 placas de petri con agar nutritivo, Saboraud y Cetrimide preparado previamente (Mau et al., 2011).

Se incubaron a 37 °C por 24 horas para la obtención de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, seleccionando aquellas que presentaron mayor crecimiento y ausencia de antagonismo, se realizaron tres repeticiones para asegurar la pureza de las colonias (Barreto et al., 2007; Britania Lab, 2023).

Se observaron colonias de forma redonda, lisas, con bordes uniformes y regulares, de tonalidad blanquecina, caracterizando a *Pseudomona spp.* por ello las colonias que se replicaron repitieron el procedimiento de cultivo y se comprobó la pureza mediante Tinción de Gram y pruebas bioquímicas (Callicó et al., 2004).

Para la obtención de inóculos concentrados de *Pseudomona spp.* se sembraron colonias únicas en caldo tioglicolato y se incubaron a 37°C por 24 horas para posteriormente pasar a un matraz en una dilución 1:100 (9 ml de solución bacteriana y 171 ml de caldo tioglicolato) con agitación permanente a 120 RPM a 37 °C por 24 horas para establecer la curva de crecimiento e identificar el punto máximo de crecimiento. Se cuantificó el crecimiento celular mediante conteo en cámara de Neubauer y la medición de absorbancia cada dos horas.

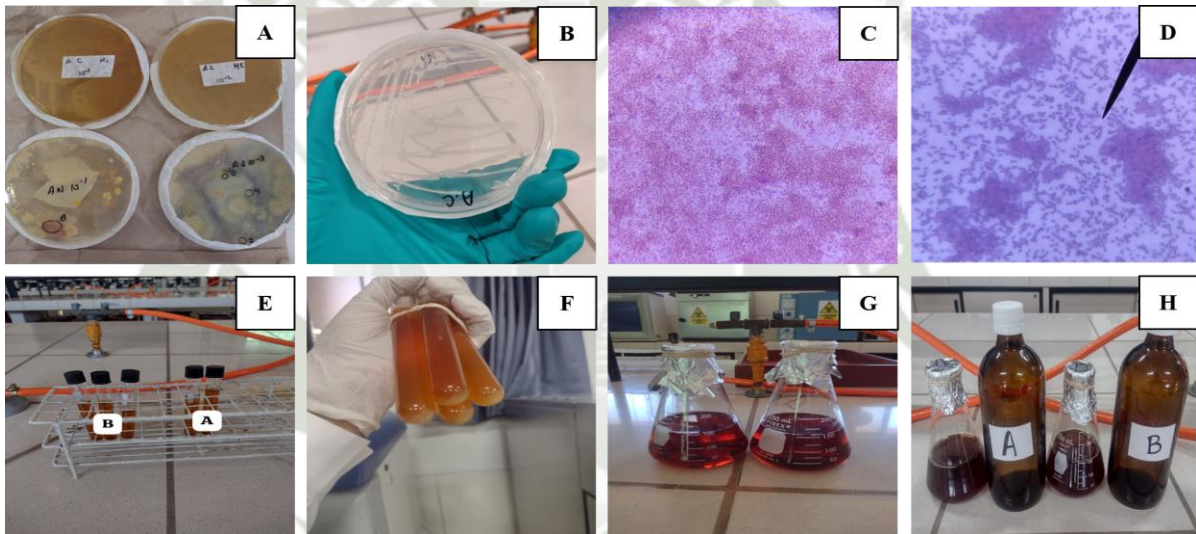
Se identificó que el punto máximo de crecimiento bacteriano antes de la fase estacionaria era a las 2 horas con suspensiones microbianas de concentraciones celulares entre 10^6 y 10^8 células/ml posteriores al cultivo, por lo que transcurrido ese tiempo se trasladó la dilución a un envase de vidrio color ámbar herméticamente sellado y se mantuvo en condiciones de refrigeración a 0°C durante su traslado hasta el área de experimentación para finalmente mantenerse refrigerado (Barreto et al., 2007).

Se utilizó la Ecuación de conteo celular para el conteo de microorganismos por ml:

$$M \text{ (ml)} = \frac{1}{\text{volumen del cuadro}} * \text{promedio de \# microorganismos contados} * \text{factor de dilución} \quad \text{Ec 2.}$$

Figura 10

Proceso de obtención de inóculo bacteriano



Nota. (A) Siembra en Agar Nutritivo para identificación de bacterias presentes en muestra de suelo de PIRS (B) Siembra en Agar Cetrimide para aislamiento de *Pseudomona spp.* (C y D) Tinción de Gram de dos especies de *Pseudomona spp.* aisladas. (E) Siembra de *Pseudomona spp.* en Caldo Tioglicolato. (F) Presencia de turbidez 24 horas posteriores a la siembra. (G) Matraces con inóculo de 9 ml de *Pseudomona spp.* (H) Inóculo listo para realizar siembra directa.

3.3.3.2.2. Selección de germoplasma de la especie vegetal *Helianthus annuus L.*

Para la selección de semillas de *Helianthus annuus L.* se acudió a una agropecuaria. Se ubicaron 4 semillas cada 10 cm por maceta según los tratamientos establecidos, con un total de 27 cajas (40*36*30.5 cm) (Cherlinka, 2023), distribuidas según la tabla 12. Las cajas fueron forradas con plástico grueso negro y etiquetado con sus respectivos códigos de identificación según la siguiente decodificación.

Tabla 12

Código y descripción de experimentación

Código	Descripción
C	Control
A	Bacteria autóctona 1
B	Bacteria autóctona 2
0%, 5%, 10%	Porcentaje de adición de muestra de suelo contaminado respecto al peso total

Tabla 13

Relación de tratamientos y codificación

Porcentaje de suelo contaminado (Factor A)	Tipo de bacteria (Factor B)	Tratamiento (Código)
0%	Control	C0 (1,2,3)
0%	Bacteria autóctona 1	A0 (1,2,3)
0%	Bacteria autóctona 2	B0 (1,2,3)

5%	Control	C5 (1,2,3)
5%	Bacteria autóctona 1	A5 (1,2,3)
5%	Bacteria autóctona 2	B5 (1,2,3)
10%	Control	C10 (1,2,3)
10%	Bacteria autóctona 1	A10 (1,2,3)
10%	Bacteria autóctona 2	B10 (1,2,3)

Nota. Las numeraciones adjuntadas al código en los tratamientos representan las repeticiones (1 - 1° repetición), (2 - 2° repetición), (3 - 3° repetición).

El suelo utilizado fue extraído de cuatro puntos de muestreo del área perteneciente al Parque Industrial de Río Seco, representando el suelo contaminado con plomo y cromo proveniente de la interacción entre los efluentes industriales vertidos por parte de las curtiembres en la zona. Se extrajo 30 kg de suelo para conformar el sustrato de los tratamientos en las cajas, cada una compuesta por 7 kg tierra de jardín, 0.350 kg de compost como enmienda orgánica y con porcentajes de 0, 5 y 10% de suelo contaminado proveniente de los puntos de muestreo.

Figura 11

Proceso de preparación de suelos y tratamientos



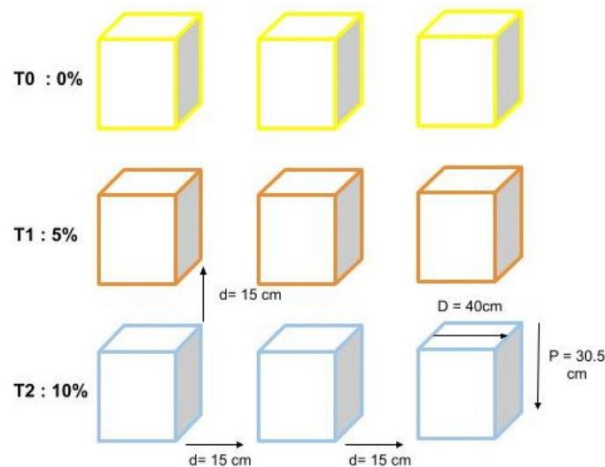
Nota. (A) Secado y tamizado de suelo. (B) Pesaje y distribución de suelo por macetas. (C) Disposición en invernadero. (D) Proceso de siembra de semillas de *Helianthus annuus L.* (E) Inoculación de bacterias A y B según tratamientos. (F) Crecimiento de *Helianthus annuus L.*

Para la preparación del suelo, las muestras se secaron al aire libre y por un proceso de solarización (48 horas), para posteriormente ser pasadas por un tamiz de 2 mm para conseguir un suelo lo más homogéneo posible. Al momento de la siembra el suelo fue regado para mantenerse semi húmedo y así facilitar el crecimiento de la semilla.

Se agregó el inóculo de 2 ml directamente a las raíces de las plantas en intervalos de 2 veces por semana (Waseem et al., 2024) y el riego se realizó 3 veces por semana con agua corriente para cubrir la necesidad media inicial de agua (500 a 600 mm por plántula) y posteriormente subir a 850 mm (Cherlinka, 2023).

Figura 12

Ilustración del orden de los componentes por tratamiento

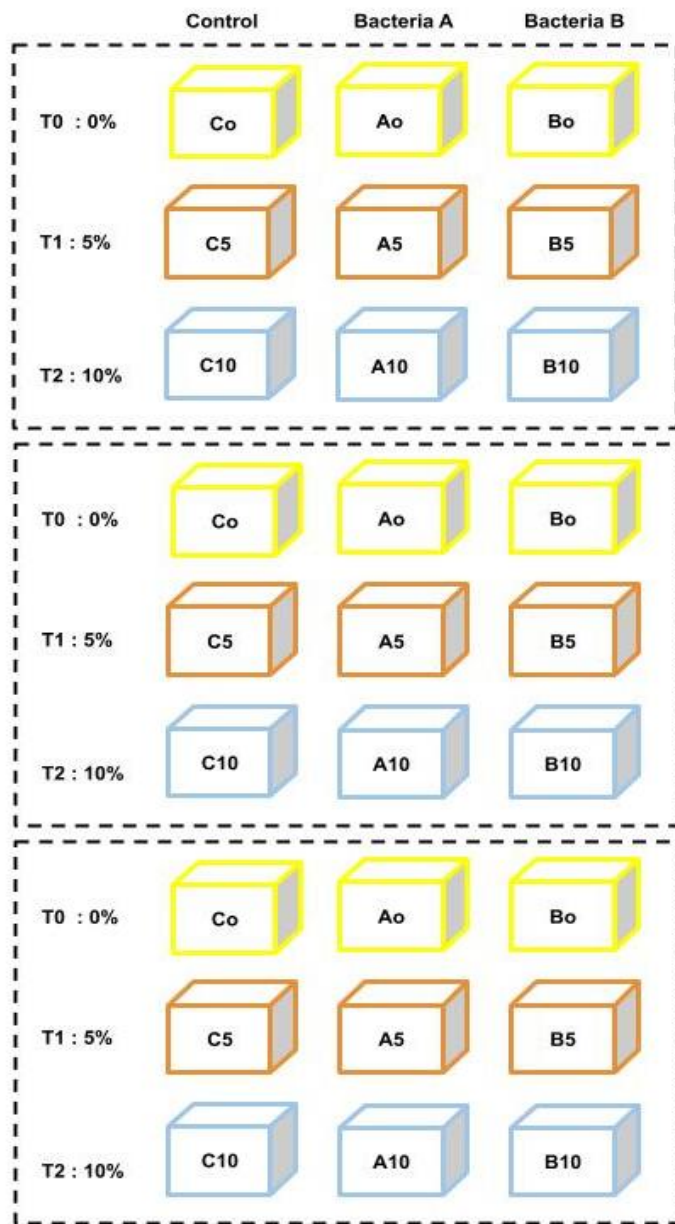


Nota. La figura muestra la distribución de los ensayos, codificación y distancias mínimas.

Se han monitoreado las condiciones climáticas para cumplir los requerimientos de crecimiento de la especie, por bibliografía se conoce que el lugar de interés cuenta con 9 horas de luz solar y temperaturas máximas de 25°C en el día y mínimas de 6°C por la noche, con un porcentaje entre 20% y 29% de humedad relativa y se ve sometido a vientos entre 3 m/s y 12 m/s., y al llevarse la investigación ex situ bajo condiciones de escala en el distrito de Socabaya, provincia de Arequipa, se confirma que comparte características similares al área de interés, contado con temperaturas entre los 10°C y 24 °C, vientos entre 0.8 y 10.1 km/h y fotoperiodo entre 9 y 11 horas (Weather Spark, 2024).

Figura 13

Distribución general de experimentación por bloques



Nota. La figura muestra la distribución de los ensayos y codificación por réplica, con un área total de 8.56 m² y perímetro total de 13.32 m.

3.3.3.3. Evaluar la fitorremediación conjunta de bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

3.3.3.3.1. Monitoreo periódico de la asociación de bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.*

Se registró de manera periódica (20, 40, 60 y 70 días) esto tomando en cuenta que el girasol (*Helianthus annuus L.*) presenta sus primeros brotes entre los 8 a 10 días por lo cual se evaluó el crecimiento de la especie en los distintos tratamientos, observándose características biométricas y cambios visuales, las cuales se registraron en fichas de seguimiento y observación.

Se registraron datos de altura y diámetro de tallo, número de hojas sanas, muertas, enfermas y totales, largo y ancho de la misma.

Para hallar el número total de hojas se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{N}^{\circ} \text{ total de hojas} = \text{hojas enfermas} + \text{hojas sanas} + \text{hojas muertas} \quad \text{Ec. 3}$$

García Díaz et al. (2018) sugiere los siguientes criterios de evaluación para la clasificación de hojas enfermas, sanas y muertas se realizaron mediante la observación de marchitamiento, apariencia del follaje y presencia de larvas.

- a. Hojas sanas, no presentan curvatura hacia abajo, sin enroscamiento ni decoloración presente.
- b. Hojas enfermas, presentan una decoloración amarilla a marrón rojizo, hay marchitez de los bordes y se observa la presencia de larvas.
- c. Hojas muertas, se encuentran depositadas en el sustrato.

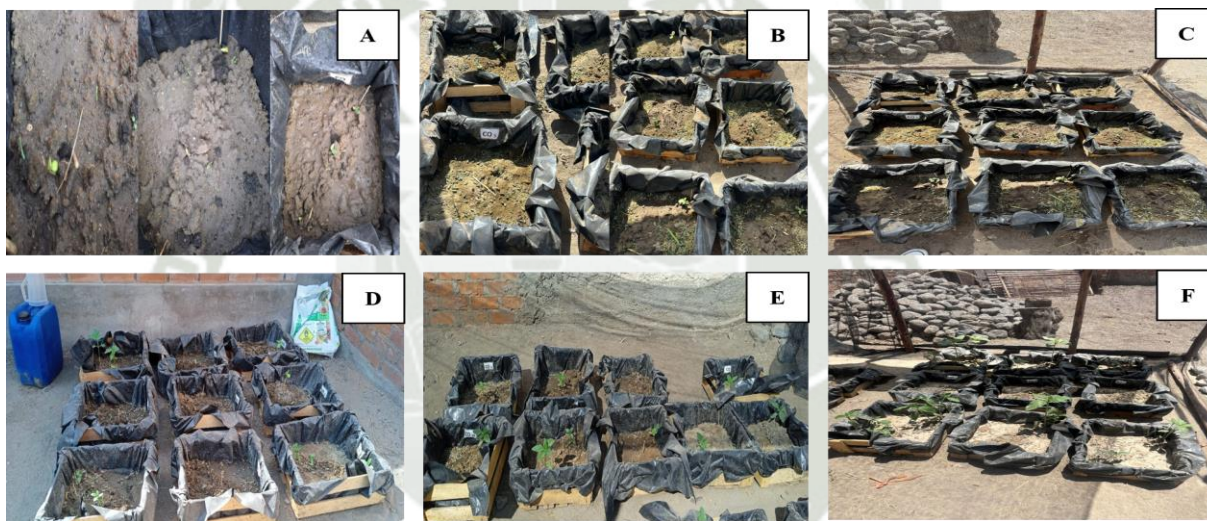
Al cumplirse 70 días se realizó la caracterización visual y biométrica final de cada individuo y su asociación a la bacteria autóctona respectiva por órgano. En la parte radicular

se midió la altura y extensión de raíz, altura y diámetro de tallo, número de hojas sanas, enfermas, muertas y totales, además de largo y ancho, y si existió la presencia de inflorescencias y brotes junto a su altura.

Se recolectaron muestras por cada tratamiento para realizar los análisis correspondientes.

Figura 14

Monitoreo de Crecimiento vegetal de Helianthus annuus L.



Nota. (A) Desarrollo del brote inicial en los tratamientos B0, A0 y C0 a los 15 días. (B) Crecimiento en grupo Control a los 20 días. (C) Adición de abono a cada tratamiento. (D) Crecimiento vegetal de tratamiento A con diferentes concentraciones de contaminantes (40 días). (E) Crecimiento vegetal del tratamiento B a diferentes concentraciones de contaminantes (40 días). (F) Crecimiento vegetal del grupo Control a diferentes concentraciones de contaminantes (40 días).

3.3.3.3.2. Análisis de Plomo y Cromo en tejidos vegetales

Se extrajeron 100 g de peso por muestras, 4 muestras por especies (raíz, tallo, hojas e inflorescencia), se combinaron las partes y fueron dispuestas en bolsas ziploc para luego ser trasladadas al laboratorio. El método a utilizar para determinar la concentración de Cromo y Plomo fue mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica en el Laboratorio de Investigación y Servicios - LABINSERV de la Universidad Nacional de San Agustín.

3.3.3.3.3. Análisis de Plomo y Cromo en suelo

Se extrajeron muestras de 180 g de todas las cajas con tratamiento y de control, para ser homogeneizadas y conseguir una muestra representativa de 500 gramos por tratamiento, las cuales fueron rotuladas y enviadas al Laboratorio de Investigación y Servicios - LABINSERV de la Universidad Nacional de San Agustín para ser analizadas mediante Espectrometría de Masas.

3.3.3.3.4. Análisis de pH final en suelo

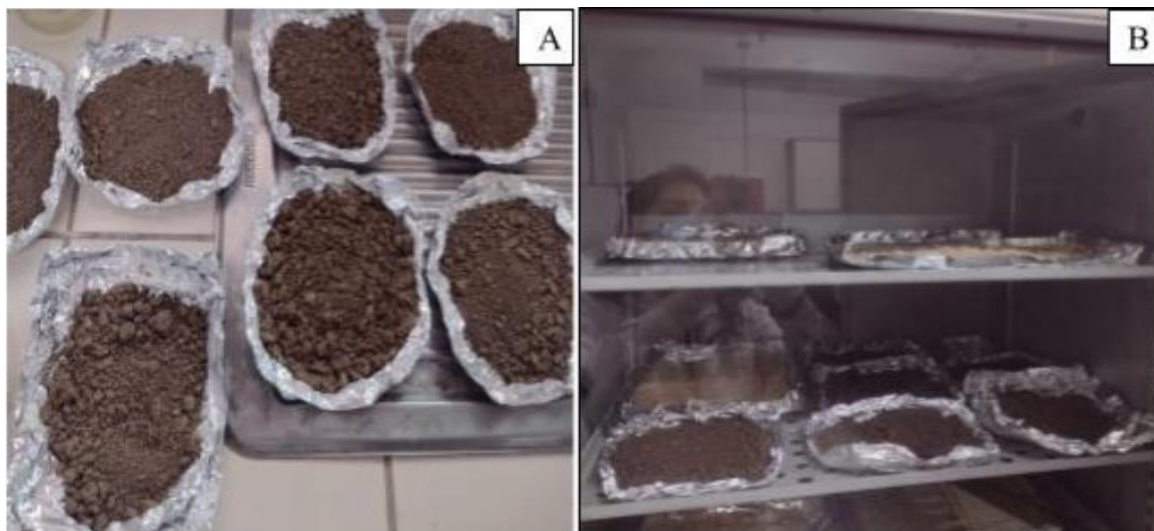
La muestra de suelo fue sacada, molida y cernida con tamiz N°10 y se analizó el pH de las muestras de suelo mediante el método EPA 9045D Rev. 4 Soil and Waste pH.

3.3.3.3.5. Análisis de conductividad eléctrica final en suelo

Se pesaron 20 g de suelo seco al aire en una balanza de precisión, y posteriormente se introdujeron en un vaso Beaker al que se añadieron 100 ml de agua destilada. La mezcla se llevó a un agitador mecánico durante 30 minutos para filtrarse y extraer una alícuota de la solución. Finalmente, se midió la conductividad eléctrica de la alícuota con un conductímetro (Universidad Politécnica de Valencia, 2018).

Figura 15

Preparación de muestras por tratamiento para análisis de pH y conductividad eléctrica



Nota. (A) Muestras representativas (500 gr) por tratamiento. (B) Muestras dispuestas en estufa para proceso de secado por 24 horas a 100°C.

3.3.3.3.6. Análisis de clorofila total y contenido de carotenoides

La cuantificación de clorofila A y B se realizó mediante el método aplicado por Arnon (1949), se seleccionaron muestras de hojas sin nervaduras y pesaron 2 g, fueron lavadas y secadas para posteriormente pasar al mortero y agregar 5ml de acetona al 80% para homogeneizar la muestra. El producto fue colocado en volúmenes iguales en tubos de vidrio para centrifugar a 3500 rpm por 10 minutos. Una vez terminada la centrifugación se decantó el sobrenadante de la muestra en una probeta para ser aforado y llevado al espectrofotómetro donde se midió a longitudes de onda de 646 nm, 663 nm y 470 nm. Con los resultados obtenidos se aplicaron las siguientes ecuaciones para hallar el contenido de clorofilas y carotenoides (Ascención Mendoza, 2018) .

$$\text{Clorofila total (mg/m}^2\text{)} = (8.02A663) + (20.29A646) \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Clorofila A (mg/m}^2\text{)} = (12.21A663) + (2.81A646) \quad \text{Ec. 5}$$

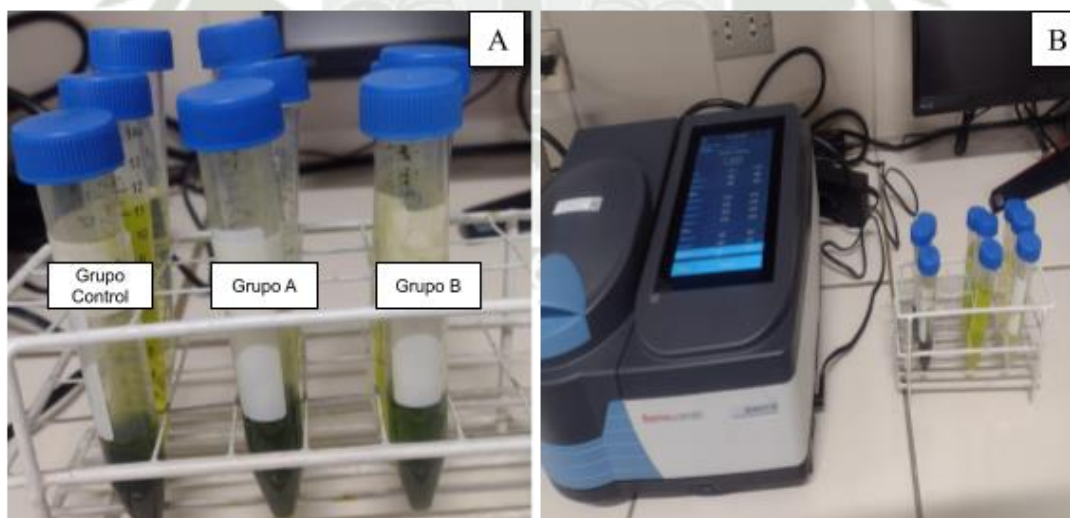
$$\text{Clorofila B (mg/m}^2\text{)} = (22.13A663) + (5.03A646) \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Carotenoides (mg/m}^2\text{)} = (1000A470 - 1.82 \text{ clorofilaa} - 85.02 \text{ clorofilab}) \quad \text{Ec. 7}$$

198

Figura 16

Extracción de compuestos fotosintéticos



Nota. (A) Muestras de compuestos fotosintéticos por grupo de experimentación. (B) Medición de absorbancia a 646 nm, 663 nm y 470 nm.

3.3.3.3.7. Análisis de contenido relativo de agua

Se escogieron 10 hojas medianas para ser pesadas o 4 hojas grandes (PF₁), las cuales fueron remojadas en agua destilada en placas Petri alrededor de 3 a 4 horas en total oscuridad, cuando llegaron a su punto de turgencia máxima se pesaron nuevamente para obtener su peso fresco a turgencia máxima (PF₂).

Posterior a ello se secó en un horno a 100 °C durante 24 horas para finalmente determinar su peso seco (Universidad Nacional de La Plata, 2022; Waseem et al., 2024).

Se utilizó la ecuación de contenido relativo de agua:

$$\text{CRA \%} = \frac{\text{PF}_1 - \text{PS}}{\text{PF}_2 - \text{PS}} \times 100 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

CRA %: Cantidad relativa de agua

PF₁: Peso fresco

PF₂: Peso fresco a turgencia máxima

PS: Peso seco

Figura 17

Selección de hojas por grupo de experimentación



Nota. (A) Muestras por grupo de experimentación en placas petri con agua destilada para prueba de turgencia máxima. (B) Disposición de muestras en total oscuridad por 4 horas de cada muestra para prueba de turgencia. (C) Pesaje de muestras post prueba de turgencia. (D) Colocación de muestras a estufa y resultado.

3.3.3.3.8. Evaluación de la actividad enzimática

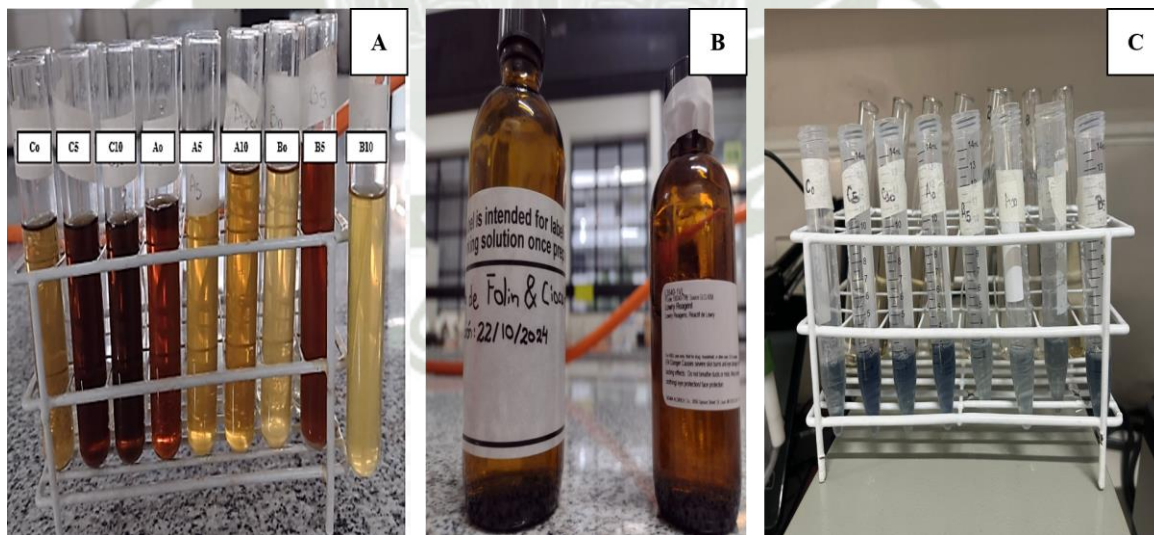
Se seleccionaron aleatoriamente muestras de hojas, tallos y raíces, este material fue homogeneizado y se extrajo por igual 3 g por cada órgano. Las muestras se pesaron y trituraron en mortero con el apoyo de tampón fosfato de sodio de 100 mM, a un pH de 7.0, en frío con una relación 1:1 de masa/volumen. Posteriormente las muestras se centrifugaron a 12 000 RPM por 15 minutos, el sobrenadante se colectó y refrigeró para la prueba de actividad enzimática (Díaz et al., 2010).

A. Análisis de proteínas

Para el análisis de proteínas se utilizó el método Lowry (1951) para determinar el contenido proteico, se realizaron diluciones 1:10 y 1:20 al identificar la tonalidad de los extractos enzimáticos, se extrajo 1 ml de la suspensión y se añadió 1 ml de reactivo de cobre alcalino (Reactivo A) el cual fue agitado vigorosamente por 30 segundos en vortex. Se dejó reposar la solución por 10 minutos para finalmente añadir 0.5 ml del Reactivo de Folin-Ciocalteu mientras se agitaba. Se dejó incubar la muestra por 30 minutos a temperatura ambiente, alejado de la luz para concluir con la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 750 nm (García & Sánchez Rojas, 2011).

Figura 18

Extracto enzimático de muestra representativa por tratamiento y Reactivos A y B utilizados para prueba de Lowry



Nota. (A) Extracto enzimático proveniente de ejemplares de *Helianthus annuus L.* (B) Reactivo de cobre alcalino y Reactivo Folin- Ciocalteu, utilizados para medir la presencia

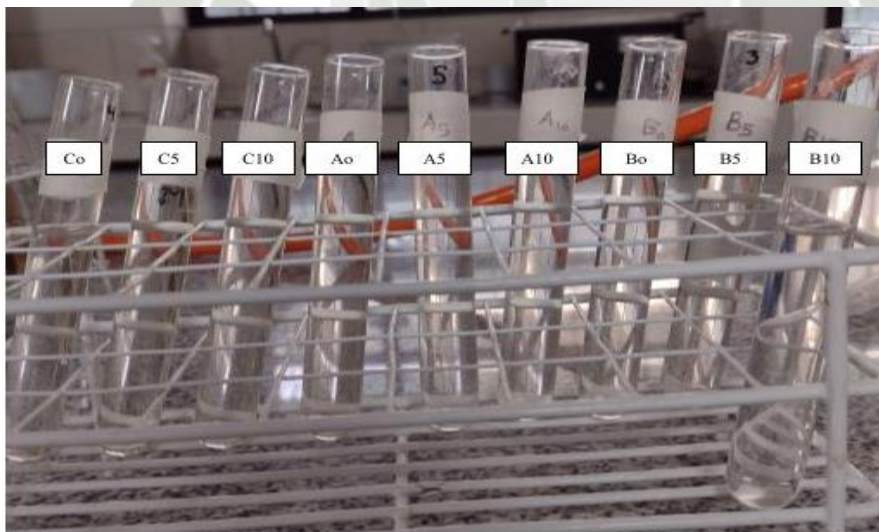
de proteínas en cada extracto. (C) Resultados de prueba de Lowry en extracto enzimático por tratamiento.

a. Determinación de catalasa (CAT)

Se determinó por la metodología de Chance y Machley (1955), en la cual se tomó 1000 μ l de 50 mM de tampón fosfato de potasio con pH neutro, 1.9 ml de 5.9 mM de peróxido de hidrógeno, y 0.1 ml de extracto enzimático para ser mezclados y crear 3 ml de la solución de Catalasa. Se añadió el extracto enzimático justo antes de colocar al espectrofotómetro. Finalmente se midió por 150 segundos a 240 nm y se realizaron mediciones cada 30 segundos (Waseem et al., 2024).

Figura 19

Preparación de muestras por tratamiento para prueba de catalasa



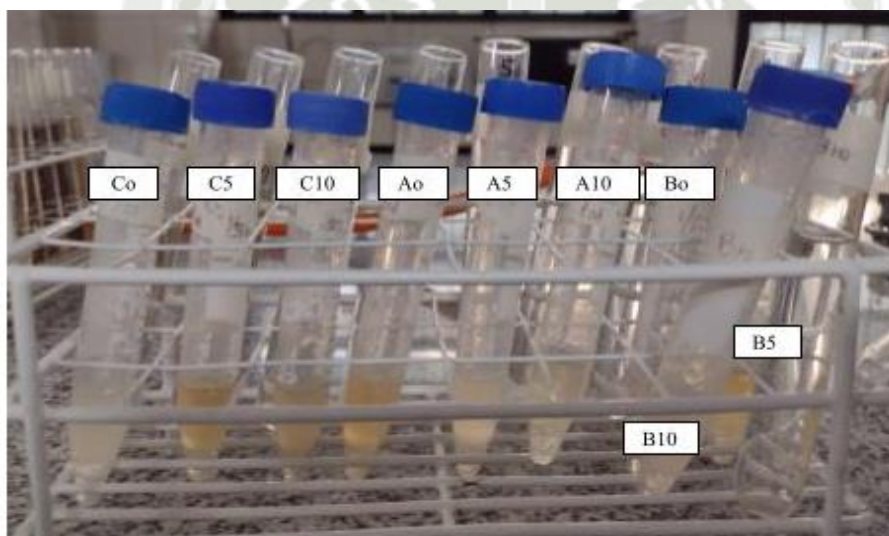
Nota. Muestras de extracto enzimático con tampón fosfato de potasio y H_2O_2

B. Determinación de peroxidasa (POD)

Se mezclaron 700 microlitros de 50 mM de tampón de fosfato de potasio con pH de 5.0, 20 mM de guaiacol, 40 mM de agua destilada y 0.1 ml de extracto enzimático para crear 2 ml de la reacción de POD. El espectrofotómetro se ajustó a 470 nm durante 150 segundos, y se tomaron mediciones a intervalos de 30 segundos (Waseem et al., 2024).

Figura 20

Análisis de peroxidasa para cada muestra por tratamiento



Nota. Muestras de extracto enzimático con guaiacol, tampón fosfato de sodio y agua destilada.

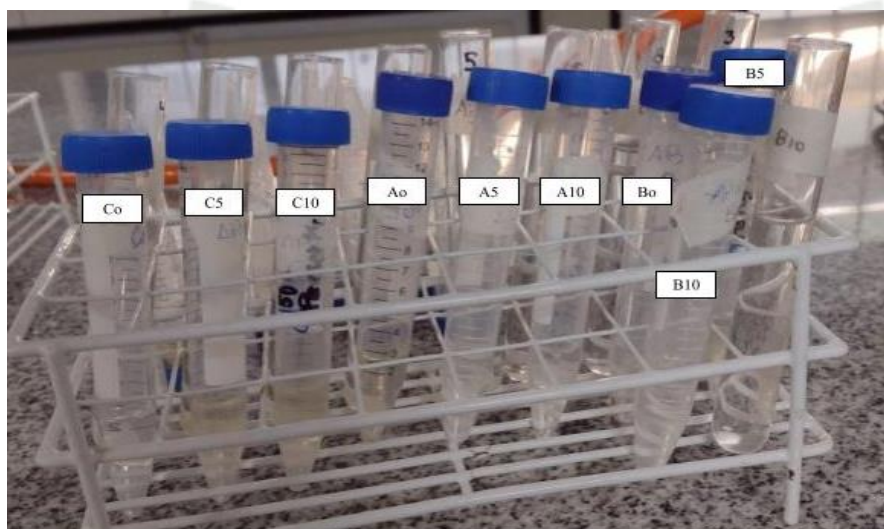
C. Determinación de ascorbato peroxidasa (APX)

Se determinó mediante una modificación de la versión de Nakano & Asada (1981). Se mezclaron 225 μ l de ácido ascórbico a 7.5 mM, 0.1 ml de extracto enzimático y 2.7 ml de tampón de fosfato de potasio a 50 mM, agregando agua destilada para completar 3ml de la

reacción de APX. La absorbancia se midió a 290 mM en intervalos de 30 segundos y en un rango de tiempo de 0-60 segundos contra un blanco (Waseem et al., 2024)

Figura 21

Análisis de ascorbato peroxidasa para cada muestra por tratamiento



Nota. Muestras de extracto enzimático con tampón fosfato de sodio y ácido ascórbico.

3.3.3.4. Determinar el porcentaje de remoción total de metales pesados en suelo y el factor de bioacumulación total de metales pesados en tejidos vegetales de *Helianthus annuus*

L.

3.3.3.4.1. Cálculo del Factor de Bioconcentración total (FBCT) y Porcentaje de remoción de metales

Si los valores son menores a 1 indican que la especie vegetal es exclusora, es decir que, aunque se desarrolle en suelos con metales, evita absorberlos y acumularlos en sus tejidos. Por otro lado, si los valores son mayores a 1 indican que la especie vegetal es

potencialmente acumuladora, por lo cual la planta estaría almacenando y acumulando el metal en sus tejidos e incluso si el valor logra ser 10 se consideraría a la planta como hiperacumuladora (Montano et al., 2022).

$$FBCT = \frac{[\text{metal}] \text{ total planta}}{[\text{metal}] \text{ suelo}} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

[metal] total= Concentración del metal total de la planta en mg/Kg.

[metal] suelo = Concentración del metal solo en el suelo en mg/Kg.

A. Remoción de Plomo (Pb) total

La remoción de plomo se evaluó con la concentración inicial y final después de los 70 días de experimentación:

$$\% \text{ Remoción total de Pb} = \frac{\text{Ct de Pb}_0 \text{ suelo} - \text{Ct de Pb}_f \text{ suelo}}{\text{Ct de Pb}_0 \text{ suelo}} \quad \text{Ec. 10}$$

B. Remoción de Cromo (Cr) total

La remoción de cromo se evaluó con la concentración inicial y final después de los 70 días de experimentación:

$$\% \text{ Remoción total de Cr} = \frac{\text{Ct de Cr}_0 \text{ suelo} - \text{Ct de Cr}_f \text{ suelo}}{\text{Ct de Cr}_0 \text{ del suelo}} \times 100 \quad \text{Ec. 11}$$

Para el análisis de todos los datos se aplicaron pruebas de Normalidad e Igualdad de Varianzas para posteriormente realizarse el Test de Tukey ($p < 0.05$).

Esta evaluación nos permitirá discernir entre el efecto de la fitorremediación asistida de *Helianthus annuus L.* con inoculación de bacterias autóctonas sobre el crecimiento vegetal y la concentración de cromo y plomo en el suelo contaminado por efluentes industriales provenientes del PIRS.





CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del estado del suelo y concentración inicial de metales

pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

■ Análisis de pH y conductividad eléctrica en suelo

En la Tabla 14 se presentan los valores de pH y conductividad eléctrica iniciales y finales, obtenidos en examen de laboratorio de muestra de suelos del Parque Industrial Río Seco.

Tabla 14

Valores de pH y conductividad eléctrica (C.E) de muestra representativa

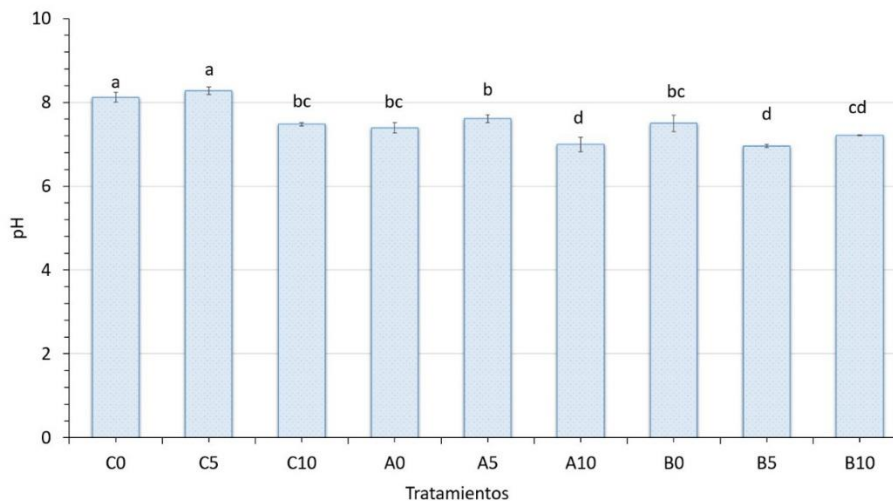
Parámetros físico químicos	
pH (Unidad de pH)	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
8.23	4440

La Tabla 15 indica los valores evaluados al constituir cada uno de los tratamientos postulados para la experimentación

Tabla 15

Valores de pH y conductividad eléctrica (C.E) por tratamiento

Códigos	pH inicial	pH final	C.E inicial	C.E final
	(Unidad de pH)		(µS/cm)	
C0	8.33	8.12	4470	408.0
C5	8.47	8.27	4390	717.3
C10	8.35	7.48	4450	495.0
A0	8.38	7.39	3500	323.3
A5	8.28	7.61	2850	294.0
A10	8.5	7.0	2800	309.7
B0	8.45	7.50	2700	892.3
B5	8.34	6.96	1800	1082.3
B10	8.46	7.21	2100	1221.0

Figura 22*Evaluación de pH final por tratamiento*

Nota. Valores de pH post tratamiento

El pH es uno de los principales factores que controlan la movilidad y biodisponibilidad de metales en el suelo además de la actividad microbológica, el valor inicial obtenido de la muestra base para la disposición de los tratamientos identifica al suelo perteneciente al Parque Industrial Río Seco dentro de la clasificación moderadamente alcalino, suelo alcalino-calcáreo o salino - sódico (pH 7.9-8.4), caracterizado por la presencia de valores altos de sodio intercambiable (Manzano Banda et al., 2014), dato que concuerda con el análisis de concentración de metales de la Tabla 19 que nos brinda valores entre los 3990 a 19700 mg/kg. Este tipo de suelo facilita la disponibilidad de metales como el Cr.

Singh et al., (2011) y Amari et al., (2017) mencionan que las concentraciones de Cu y Pb tienden a aumentar su concentración en suelos alcalinos debido a que se vuelven menos solubles para el medio al precipitarse como hidróxidos.

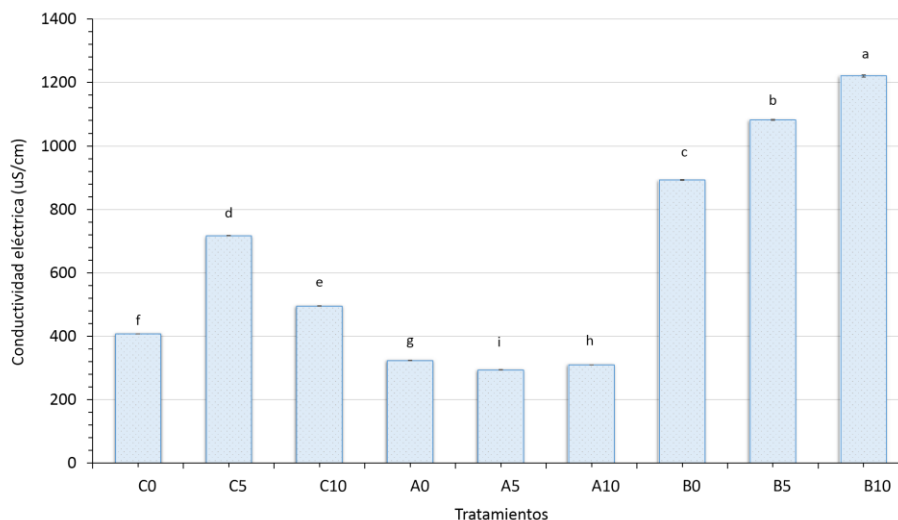
Por sus características genera condiciones desfavorables para el crecimiento de cultivos debido a la falta de micronutrientes, lo cual deriva en clorosis del follaje, principalmente clorosis de Zinc y Fe además de generar problemas de permeabilidad en el mismo (Singh et al., 2011; Lago Vila, 2018).

Sin embargo, el valor final de pH por tratamiento (Ver Figura 20) se encuentra en rangos variados con la especificación de que los que fueron sometidos al uso de *Pseudomona spp.* disminuyeron su pH, resaltando el tratamiento A10, el cual pasó de moderadamente alcalino a neutro (pH=7) y B5 de moderadamente alcalino a muy levemente ácido (pH=6.96) esto debido a la suma de distintos factores entre ellos la adición de compost que ayuda a estabilizar el pH del suelo, reducir la erosión, favoreciendo el drenaje y favorece la fijación de carbono en el mismo (Ministerio del Medio Ambiente, 2021); estos valores se encuentran entre los cuales Prasad & Power (1997) mencionan a aquellos suelos que pueden obtener los mejores resultados en rendimiento y productividad agrícola (Ibarra Castillo et al., 2009).

Barros et al. (2005) explica como el Cr (VI) aumenta su disponibilidad al incrementar el pH y la del Cr (III) incrementa con la disminución del pH, incluso menciona como Cary et al. (1977) y McGrath (1982) registran que el Cr (VI) se reduce a Cr (III) al ser absorbido por la planta, este proceso se ve potenciado por la acción de *Pseudomona spp.*, las cuales producen enzimas como la cromato reductasa que transforma a los metales a sus formas menos tóxicas y ayuda a retenerlos principalmente en las raíces de la misma, constituyendo de esta manera una detoxificación in situ (Ramírez Díaz et al., 2009).

Figura 23

Evaluación de conductividad eléctrica por tratamiento



Nota. Valores de cambio de conductividad eléctrica por tratamiento

Por otro lado los valores de conductividad eléctrica iniciales lo categorizan en un tipo de suelo medianamente salino según el Gobierno de Argentina (2023) por la excesiva presencia de sales en las muestras analizadas, siendo las más resaltantes las concentraciones de Calcio (40851 - 119635 mg/kg), Magnesio (2270 - 4589 mg/kg), Sodio (3990 - 19700 mg/kg) y Potasio (700 - 1863 mg/kg) datos que superan los valores reportados por Medina Arias (2023), lo cual deriva en deficiencias del crecimiento de flora en el área debido a la alteración en la absorción de agua generando estrés osmótico y al mismo tiempo estrés iónico generado por la presencia de iones de sodio que interfieren en la absorción de iones de potasio o calcio produciendo así la muerte de las plantas utilizadas, reducción en el contenido de la clorofila presente en las hojas y deficiencia de nitrógeno que se hace visible

por cambios en la coloración de las plantas, tornando las hojas jóvenes a un verde pálido y las maduras a tonos amarillentos (Cherlinka, 2022).

Los valores finales de conductividad eléctrica (300 - 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) demuestran que hay menor cantidad de sales presentes en el medio, esto aunado a que el girasol tolera niveles de salinidad en un rango entre los 2000 a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sin perder su rendimiento lo cual lo clasifica como un cultivo moderadamente sensible a la salinidad (Gómez-Arnai, 1988), por lo tanto el valor promedio analizado nos permite comprender que la raíz no presentó mayores problemas para desarrollar y absorber nutrientes del suelo.

Observación de color de suelos

Se caracterizó el color de suelo antes y después del proceso de fitorremediación

Tabla 16

Valores de color de suelo

Descripción	Estado	Valores Tabla Munsell
Suelo P.I.R.S.	seco	10 Yr 5/2
	húmedo	10 Yr 3/1
P.A.	seco	10 Yr 5/4
	húmedo	10 Yr 4/2
P.B.	seco	10 Yr 6/2
	húmedo	10 Yr 5/2
P.C.	seco	10 Yr 3/3
	húmedo	10 Yr 2/3

P.D.	seco	10 Yr 5/3
	húmedo	10 Yr 4/1

Nota. Las siglas representan cuatro puntos de muestreo analizados: P.A. Canal alimentador de I Laguna de oxidación, P.B. Bordes circundantes II Laguna de oxidación, P.C. Fisura de canal principal y P.D. Inicio de Quebrada Estanquillo.

La observación visual del color del suelo ubica a la muestra estandarizada de suelo del PIRS en estado seco con un tono 10 YR (combinación de rojo y amarillo, generando un tono anaranjado), con valor de luminosidad 5 y 2 de croma; y en estado húmedo 10 YR (tonos anaranjados), 3 de valor de luminosidad y 1 de croma.

Estas características reflejan la composición del suelo, así como condiciones de óxido-reducción, contenido de materia orgánica, estado de lixiviación y/o acumulación de compuestos químicos en el suelo.

La tonalidad amarilla- Marrón en los suelos analizados corresponden a la presencia de compuestos ricos en hierro (Fe), lo cual se corrobora con los datos de concentración de metales presentes en el área con valores de 11022 mg/kg; de igual manera las altas concentraciones de Cr tienden a presentar tonos marrones o verdosos al asociarse con compuestos orgánicos (Vilca & Gordillo, 2016).

██████████ Análisis de textura de suelos

Posterior al proceso de secado en estufa se tomaron muestras representativas que fueron pasadas por tamices de distinto tamaño para poder evaluar la textura de los suelos a ser utilizados como sustrato para los tratamientos.

Tabla 17

Valores de textura suelo del Parque Industrial Río Seco (PIRS)

Descripción	Tamiz 850 μm	Tamiz 250 μm	Tamiz 150 μm
Suelo P.I.R.S.	77.25 %	14.9%	7.85%

Nota: Los valores que se presentan en la Tabla 17 son los resultados de las pruebas de textura en tamices con diferentes valores de micrómetros para la muestra de suelo del Parque Industrial Río Seco (PIRS).

Para el primer valor del tamiz de 850 μm , se indica que el 77.25% de las partículas del suelo poseen un tamaño igual o menor a 850 μm esto sugiere un suelo franco arenoso, de textura gruesa con baja capacidad de retención de agua, y escasa retención de nutrientes. (USDA,2014). Este tipo de suelos requieren diversas prácticas de manejo para incrementar su productividad. (FAO,2024). Tomando en cuenta que puede interferir también con el crecimiento microbiano por la escasa materia orgánica (Sales Ordoñez et al., 2024).

El segundo resultado en la Tabla 17 indica un porcentaje de 14.9% para el tamiz de 250 μm , esto sugiere que una porción considerable del suelo se encuentra compuesto por partículas en el rango de limo y arena fina (USDA,2014), este tipo de suelo indica una mejor capacidad de retención de agua y nutrientes, así mismo una mayor actividad biológica, esto podría ser beneficioso para el crecimiento de plantas, aunque son fértiles pero muy difíciles de trabajar cuando se encuentran secos. (FAO,2024). Por otro lado, Hillel (1998), indica que la mayor capacidad de retención de agua se justifica debido a la mayor superficie específica y porosidad de los suelos con una alta proporción de partículas finas.

Así mismo, Zhang et al. (2018) menciona que un contenido elevado de material fino favorece un ambiente adecuado para la actividad microbiana del suelo y su actividad enzimática. Sin embargo, al ser suelos más compactos López (2002), sugiere que puede resultar en un entorno desfavorable para el crecimiento de las raíces y la salud general de la planta, ya que se restringe el flujo de aire y agua por la capacidad de retención hídrica antes mencionada.

Y el último valor que se obtuvo, fue del 7.85% en la prueba en el tamiz 150 μm , este rango se divide entre suelo limo y la presencia de algunas partículas de arena fina, este tipo de suelo tiene un porcentaje considerable en la retención de humedad y nutrientes, y por su textura favorece el drenaje y la disponibilidad de agua para las plantas, sin embargo si el porcentaje de limo es alto y el de arena poco, existe el riesgo de que se genere compactación y desencadene una mala movilidad del agua (Rico & Del Castillo, 1992). Pero si existe una adecuada mezcla y balance entre arena y limo, existe un equilibrio entre la retención de humedad y drenaje, siendo una situación vital para las plantas que requieren de aireación y acceso a agua, evitándose las condiciones de encharcamiento (M. Bierman & J. Rosen, 2010).

Determinados los tipos de suelo presentes en el PIRS, se puede corroborar su escasa tasa de fertilidad, además de ser suelos altamente alcalinos, esto relacionado con la alta evaporación de la región Arequipa y la poca disponibilidad de nutrientes en el suelo, que incrementa su pH, además al ser suelos con poca retención hídrica, favorece su uso industrial por su capacidad de drenaje.

Tabla 18*Valores de textura por tratamientos*

Descripción	Tamiz 850 μm	Tamiz 250 μm	Tamiz 150 μm	Textura
C0	86.2	11.3	2.5	Arenoso
C5	83.31	13.18	3.51	Arenoso
C10	82.21	13.5	4.29	Arenoso
A0	86.63	11.18	2.19	Arenoso
A5	82.68	13.82	3.5	Arenoso
A10	74.98	21.13	3.89	Arenoso
B0	81.3	15.45	3.25	Arenoso
B5	76.51	17.98	5.51	Arenoso
B10	67.5	24.69	7.81	Arenoso

Nota: Resultados de aplicación del método de tamizado para análisis de textura en suelos.

Para la muestra del suelo control C0 se obtuvo un valor de 86.2% en el tamiz de 850 μm esto indica que la gran mayoría de partículas de este suelo son más grandes que la malla del tamiz, por lo tanto es un indicativo de partículas gruesas o arena gruesa, clasificándose así como un suelo arenoso con una baja cantidad de partículas finas, este tipo de suelo posee un buen drenaje pero una baja retención de nutrientes y agua por lo que tiende a secarse

rápidamente (FAO,2024), factor que deberá ser tomado en cuenta para el desarrollo de la parte experimental con *Helianthus annuus L.* Sin embargo, los resultados de las demás muestras del tratamiento C0 que pasaron por el tamiz de 250 μm y 150 μm apuntan a que se trataría de un suelo mixto y no un suelo arenoso puro, sin embargo, en cuanto a características, las partículas gruesas siempre salen dominando.

Según Sergieieva (2021), los suelos arenosos son poco susceptibles a la compactación, un factor favorable, sin embargo, al tener menos cohesión están más expuestos a la erosión hídrica y eólica, este factor fue abordado al realizar la experimentación en condiciones de invernadero. Los resultados para las muestras de suelo C, en sus diferentes concentraciones son similares en su rango de valores sin diferencias significativas, por lo tanto, tienen las mismas características físico-químicas.

En los resultados de la muestra A, se obtiene el mismo resultado que en el tratamiento C, un suelo arenoso con partículas gruesas, esto indica que ambos tratamientos pueden compartir condiciones de manejo o ambientales similares, y probablemente se encontrarán sujetos a las mismas limitaciones para el crecimiento de las plantas (Sposito, 2008). Sin embargo, para A10, el valor obtenido para el tamiz de 250 μm es de un porcentaje elevado en comparación a los demás, se asume que es por la naturaleza de la combinación de este tratamiento, ya que tiene mayor porcentaje de suelo contaminado procedente del PIRS. Llerena Paco et al. (2016) indica que la textura característica de este suelo es semi árido, con una tendencia de tener alta proporción de arenas gruesas, sin embargo, pueden tener variaciones en sus partículas más finas (limo) dependiendo de la historia del uso del suelo y la contaminación presente.

Y, por último, para el tratamiento B, se presencia un notable porcentaje de partículas en los tamices de 250 μm y 850 μm indicativo de una textura arenosa significativa. La variabilidad de los resultados que se observan en este tratamiento se atribuye a la mezcla de las diversas fuentes de muestreo del PIRS, esto es apoyado por Rucks et al. (2004) que menciona que la combinación de diferentes tipos de suelos, incluyendo los arenosos y arcillosos, influye de forma importante en las propiedades físico químicas del sustrato resultante. Aquí surge la posibilidad de que, al mezclar suelos de diferente procedencia, se puede mejorar la capacidad de retención de agua mediante la incorporación de partículas más finas.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se puede observar la importancia de la necesidad de enmiendas para optimizar el desarrollo agrícola, Organismo Internacional de Energía Atómica (2018) asegura que un suelo arenoso puede beneficiarse con la adición de materia orgánica, para ayudar con la retención de humedad y la fertilidad, algo crucial para la implementación de fitorremediación. Para esta experimentación se añadió compost y se implementó el riego por goteo, que ayuda a la mejora de la estructura del suelo para asegurar un crecimiento vegetal sostenible.

██████ Análisis de concentración de metales en suelo

Tabla 19

Resultados de concentración de metales totales en suelo analizados por espectrofotometría de absorción atómica

Parámetros (mg/kg)	P.A.	P.B.	P.C.	P.D.
Aluminio (Al)	4,432.476	2,471.505	2,608.921	3,206.307
Antimonio (Sb)	4.732	0.918	0.637	3.209
Arsénico (As)	22.880	10.981	5.496	10.734
Bario (Ba)	441.578	95.698	233.990	268.896
Berilio (Be)	0.236	0.241	0.173	0.173
Bismuto (Bi)	5.259	0.291	1.931	1.669
Boro (B)	41.359	3,158.990	35.225	27.633
Cadmio (Cd)	2.494	0.782	1.137	2.276
Calcio (Ca)	49,302.480	119,635.186	40,851.307	50,916.986
Circonio (Zr)	6.861	2.748	2.734	6.307
Cobalto (Co)	4.883	1.521	2.592	6.499
Cobre (Cu)	433.061	88.031	149.188	360.102
Cromo (Cr)	5,496.572	12,051.291	3,130.272	2,735.939
Escandio (Sc)	1.250	0.981	0.868	1.561

Estaño (Sn)	11.666	0.940	6.310	10.806
Estroncio (Sr)	268.426	666.484	246.713	267.988
Fósforo (P)	2,509.892	3,948.313	2,248.939	2,760.880
Hierro (Fe)	17,590.965	4,256.245	7,698.030	14,542.830
Lantano (La)	8.926	4.346	5.696	5.326
Litio (Li)	7.000	17.600	4.900	5.800
Magnesio (Mg)	2,709.882	4,589.696	2,292.217	2,270.901
Manganeso (Mn)	347.623	342.580	253.883	292.776
Mercurio (Hg)	0.638	0.262	0.262	0.526
Molibdeno (Mo)	35.569	5.283	4.004	18.570
Níquel (Ni)	30.578	7.486	7.386	16.999
Plata (Ag)	2.303	0.455	0.349	0.583
Plomo (Pb)	283.272	34.657	199.034	311.591
Potasio (K)	1,079.410	1,863.101	700.544	889.329
Selenio (Se)	3.605	3.605	3.605	3.605
Sodio (Na)	5,325.655	19,700.825	1,958.738	3,990.498
Talio (Tl)	0.093	0.093	0.093	0.093
Thorio (Th)	1.358	0.789	0.613	1.916
Titanio (Ti)	409.092	193.081	260.563	489.532

Uranio (U)	0.598	0.102	1.349	0.564
Vanadio (V)	38.632	22.636	23.106	29.101
Wolframio (W)	1.181	0.231	0.231	0.231
Itrio (Y)	3.043	0.096	2.144	2.221
Zinc (Zn)	400.313	201.196	183.513	515.954

Nota. Las siglas representan cuatro puntos de muestreo analizados: P.A. Canal alimentador de I Laguna de oxidación, P.B. Bordes circundantes II Laguna de oxidación, P.C. Fisura de canal principal y P.D. Inicio de Quebrada Estanquillo.

Los resultados presentados en la Tabla 19 muestran las concentraciones iniciales de metales totales presentes en el Parque Industrial Río Seco. La presencia de Cr destaca con valores promedio de los 4 lugares muestreados de 5853.519 mg/kg, excediendo en un 500% aproximadamente el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 1000 mg/kg establecido en el D.S. 011-2017 del Ministerio del Ambiente para suelos clasificados como comerciales, industriales y/o extractivos, sin embargo también se debe considerar valores para suelos clasificados como residenciales debido a la presencia de viviendas urbanas en el área (Arosquipa Pachari & Huillcañahui Taco, 2022), con lo cual se estaría superando en 1400% aproximadamente el valor límite de 400 mg/kg.

El cromo es considerado el principal contaminante liberado por la industria de curtiembre en la zona, siendo responsable de inhibir la actividad microbiológica del suelo y alterar su estructura, limitando su capacidad para la retención de agua y nutrientes, generando cuarteado en la capa superficial del suelo y grietas en el mismo, provocando

impactos nocivos en la flora, induciendo fitotoxicidad al interferir en el crecimiento, absorción de nutrientes y la fotosíntesis (Saleem et al., 2022).

En cuanto a las concentraciones de Pb, si bien no superan los límites establecidos por el ECA de 800 mg/kg para la clasificación de suelos comerciales, industriales y/o extractivos, sí sobrepasa en 147% a los valores establecidos para la clasificación de suelos residenciales y parques, generando impactos ambientales que afectan directamente la actividad microbiológica del medio y reflejando concentraciones tóxicas en plantas, manifestándose en hojas más pequeñas y menor altura de crecimiento, evidenciando estrés fisiológico inducido por la contaminación (Mehra, 1994).

Por otro lado, se detectaron concentraciones elevadas de distintos elementos como sodio que contribuyen al incremento de la salinidad del medio, deteriorando la estructura del mismo y afectando la absorción de agua por parte de las plantas. El exceso de potasio desequilibra la disponibilidad de nutrientes, y aunque el magnesio es imprescindible para la actividad fotosintética, en altas cantidades tiende a desplazar al calcio en el medio, el cual regula el pH y mejora la estructura del suelo, facilitando el drenaje y aireación, sin embargo, en las cantidades analizadas alcaliniza el suelo y disminuye la disponibilidad de hierro, manganeso y fósforo (Hortenstine & Fiskell, 1961).

Niveles elevados de hierro limitan el crecimiento vegetal, mientras que el fósforo se convierte en el responsable principal de eutrofización; y la presencia de aluminio y arsénico, resultan altamente tóxicos para plantas y microorganismos, además de suprimir la respiración del suelo, la nitrificación y disminuir la presencia microbiana. (Cherlinka, 2022; Medina Arias, 2023; Paredes Páliz et al., 2021).

4.2. Selección de bacterias autóctonas y germoplasma vegetal con capacidad de tolerancia y acumulación de metales pesados presentes en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

■ Aislamiento e identificación de bacterias autóctonas

A. Identificación de bacterias autóctonas

Posterior al aislamiento realizado por siembra en Agar Cetrimide, se realizaron pruebas bioquímicas que nos permitieron confirmar la presencia de *Pseudomona spp.* en las muestras de suelo.

Tabla 20

Resultados de Pruebas bioquímicas para identificación bacteriana

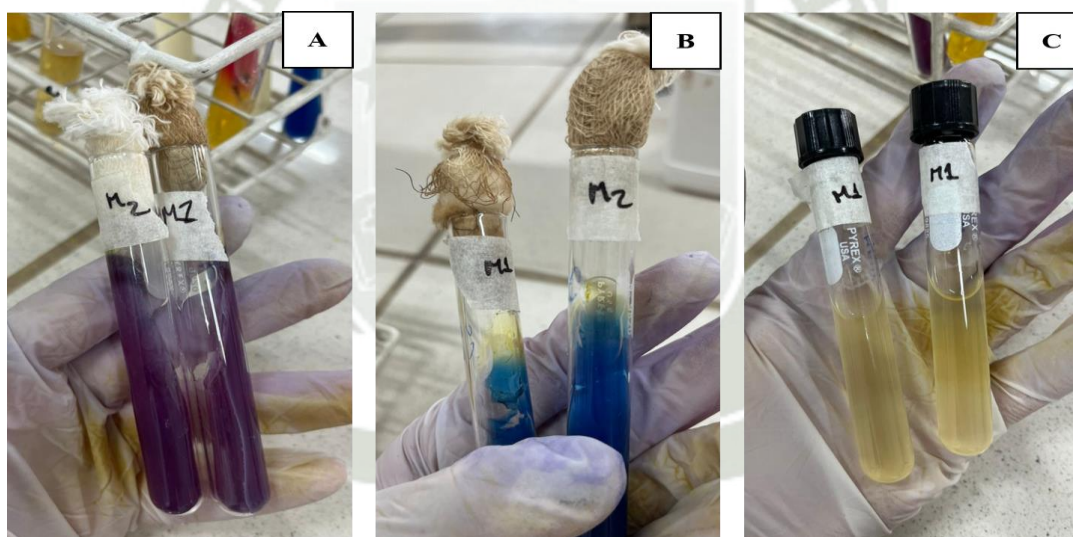
Prueba bioquímica	Parámetros	Muestra 1 (A)	Muestra 2 (B)
LIA	Fermenta	-	-
	Descarboxila	-	-
	Desaminación	-	-
	Sulfuro de hierro	-	-
SIMONS	Cambio de color (verde a azul)	+	+
TSI	Fermenta	-	-
	Produce Gas	-	-
	Sulfuro de hierro	-	-
SIM	Turbidez	+	+
	Sulfuro de hierro	-	-
	Indol	-	-

	Turbidez	si	si
MRVP	MR	-	-
	VP	-	-

Nota. LIA: Prueba Lisina, Hierro Agar. SIMONS: Prueba citrato. TSI: Prueba Triple Azúcar Hierro. SIM: Prueba Sulfuro, Indol, Motilidad. MRVP: Prueba de Rojo de Metilo y Voges Proskauer.

Figura 24

Resultados pruebas bioquímicas



Nota. (A) Resultados prueba LIA. (B) Prueba de Simmons, citrato positivo, (C) Prueba MRVP.

La prueba de LIA es un medio de cultivo que se utiliza para diferenciar microorganismos que está basado en la descarboxilación y desaminación de la lisina, así como la producción de ácido sulfhídrico. Los resultados dieron positivo a descarboxilación y

desaminación de lisina al presentar coloración violeta tanto al inicio y final del tubo, sin viraje a tonos amarillos (Medios de Diagnóstico Microbiológico, 2020).

La prueba de Simmons sirve para identificar si un organismo utiliza citrato como única fuente de carbono y compuestos amoniacales como su única fuente de nitrógeno en el metabolismo lo que genera alcalinización del medio. El medio contiene citrato de sodio y fosfato de amonio como fuentes de carbono y nitrógeno, se usa el azul de bromotimol como indicador de pH. Si las bacterias son capaces de metabolizar el citrato, lograrán multiplicarse en el medio y liberar iones amonio y esto conjunto a la eliminación del citrato, generara un cambio de color de verde a azul del indicador de pH (Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2024).

Se comprobó el cambio de color en la prueba realizada, lo cual indica la presencia de *Pseudomonas spp* como bacterias citrato- positivas (Laboratorios Microkit, 2020).

El medio TSI se utiliza para la diferenciación de bacilos gram negativos, basado en la fermentación de la sacarosa, lactosa y dextrosa junto a la producción de ácido sulfhídrico. La degradación o fermentación del azúcar se hace visible por el cambio de color del indicador Rojo de fenol de un tono anaranjado-rojizo a amarillo, o viraje a un rojo intenso si se presenta alcalinización. Se observará una tonalidad negra si hay producción de sulfuro de hierro (Britania Lab, 2012). Los resultados dieron negativo a todos los indicadores debido a que el género *Pseudomona spp*. no fermenta azúcares, no produce ácido sulfhídrico y tampoco la presencia de gas.

La prueba SIM identifica enterobacterias mediante la evaluación de parámetros de movilidad, producción indol y la producción de ácidos. La reacción se produce al agregar de 4 a 5 gotas de reactivo de Kovacs. Si hay movilidad se observará turbidez en el medio y

crecimiento alrededor de la zona de picadura de siembra, la presencia de H_2S_2 será visible por el cambio de coloración a un tono negro y finalmente la producción de Indol se observará al adicionar reactivo de Kovacs que generará un anillo color rojo (Medios de Diagnóstico Microbiológico, 2020; Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 2024).

Se comprobó la presencia de turbidez fuera de la línea de picadura, no se observó presencia de sulfuro de hierro y la prueba de indol fue negativa.

La prueba en medio MRVP busca identificar la presencia de acetoína, producto de la fermentación de la glucosa, los resultados para esta prueba fueron negativos (Siegrist, 2007).

B. Obtención de inóculos bacterianos concentrados

Se analizó durante 12 horas el crecimiento bacteriano para llegar al máximo crecimiento de referencia.

Tabla 21

Conteo en cámara de Neubauer y valores de Absorbancia

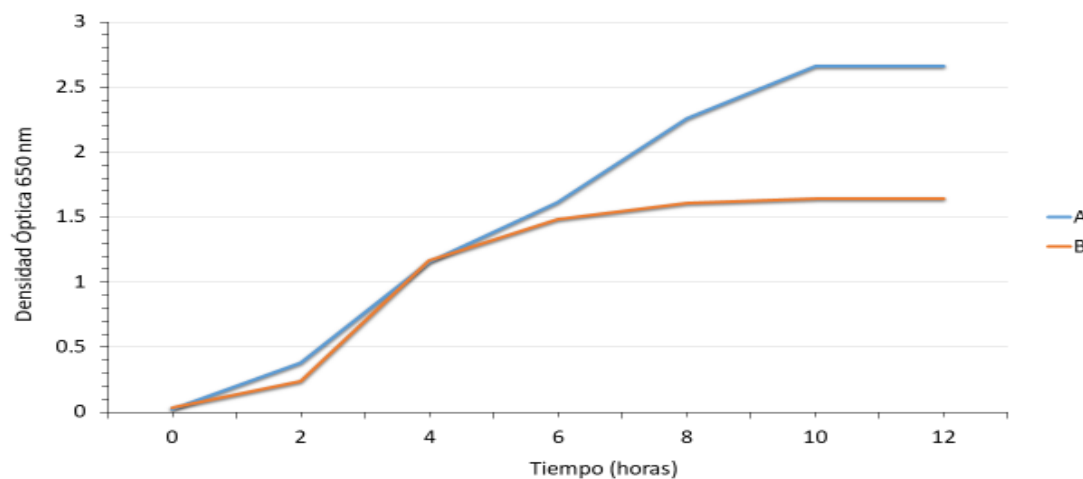
Código	Concentración celular / ml	Absorbancia (nm)
A t ₀ 10 ⁻¹	6.85E+07	0.026
B t ₀ 10 ⁻¹	8.05E+07	0.036
A t ₂ 10 ⁻²	5.50E+08	0.382
B t ₂ 10 ⁻²	5.35E+08	0.24
A t ₄ 10 ⁻³	2.50E+09	1.158
B t ₄ 10 ⁻³	3.50E+09	1.166
A t ₆ 10 ⁻²	7.00E+10	1.616
B t ₆ 10 ⁻²	6.70E+10	1.484
A t ₈ 10 ⁻⁷	9.00E+13	2.262

$B_{t_8} 10^{-7}$	6.00E+13	1.61
$A_{t_{10}} 10^{-8}$	4.70E+14	2.662
$B_{t_{10}} 10^{-8}$	2.90E+14	1.644
$A_{t_{12}} 10^{-8}$	4.70E+14	2.662
$B_{t_{12}} 10^{-8}$	2.90E+14	1.644

Nota. Las siglas A y B, representan la nomenclatura utilizada para definir a los tratamientos utilizados en función a las bacterias.

Figura 25

Análisis de absorbancia a 650 nm por bacteria

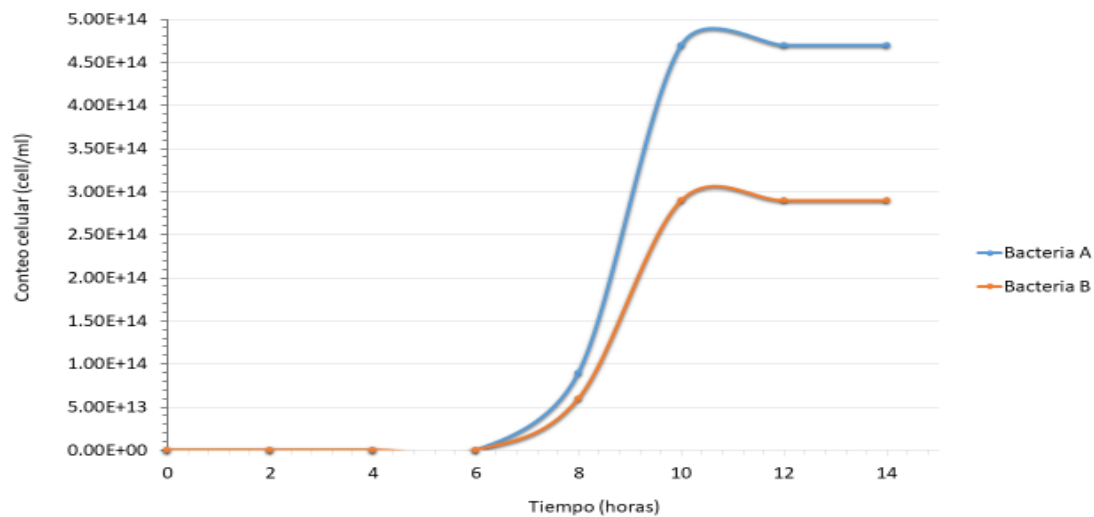


La relación entre absorbancia de luz de longitud de onda fija y la concentración se basan en la Ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia (A) es directamente proporcional a la concentración (c) de la muestra y la longitud de onda. A medida que incrementa la concentración de bacterias aumenta también la absorbancia (Bárcena Ruiz et al., 2020).

La gráfica nos muestra la relación de cambio en valores de absorbancia respecto al tiempo, datos que van de la mano con la Tabla 21, analizando el comportamiento del crecimiento bacteriano, a mayor cantidad de individuos presentes mayor será el valor de lectura registrado.

Figura 26

Curva de crecimiento bacteriano durante 12 horas



Al inicio de ambas curvas de crecimiento, entre las 0 y 6 horas, se desarrolla la fase de adaptación en la cual se observa una absorbancia sin cambios prominentes y un crecimiento prácticamente constante, esto debido a que las *Pseudomonas spp.* se encuentran adaptándose al medio. Posteriormente se pasa a la fase exponencial, entre las 6 y 10 horas, periodo de tiempo donde las bacterias han logrado adaptarse al medio e iniciaron una reproducción acelerada por lo cual los valores de absorbancia se elevan de manera rápida y la curva de crecimiento bacteriano avanza. Sin embargo, a partir de las 10 horas ambas

curvas tienden a nivelarse, ingresando así a la fase estacionaria, con valores de absorbancia que disminuyen su crecimiento.

En A, la absorbancia pasa de 2.262 a 2.662 y en B de 1.61 a 1.644, demostrando así que el crecimiento ha empezado a desacelerarse y tiende a mantenerse constante, por lo cual en cuestión de horas entrarían en la fase de muerte (López, 2016).

Se logró observar que tanto la muestra A como la muestra B llegan al punto de referencia de crecimiento bacteriano a las 2 horas con valores de 5.50×10^8 y 5.35×10^8 células/ml, lo cual nos indica que las condiciones atmosféricas y del medio (Caldo Tioglicolato) fueron favorables para la reproducción celular de *Pseudomona spp*, al contener nutrientes como peptonas y extracto de carne que favorecen su desarrollo y crecimiento (MICROGEN, 2023; Waseem et al., 2024).

4.3. Evaluación de la fitorremediación conjunta de bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados por efluentes industriales del Parque Industrial Río Seco.

Monitoreo periódico de la asociación de bacterias autóctonas y *Helianthus annuus L.*

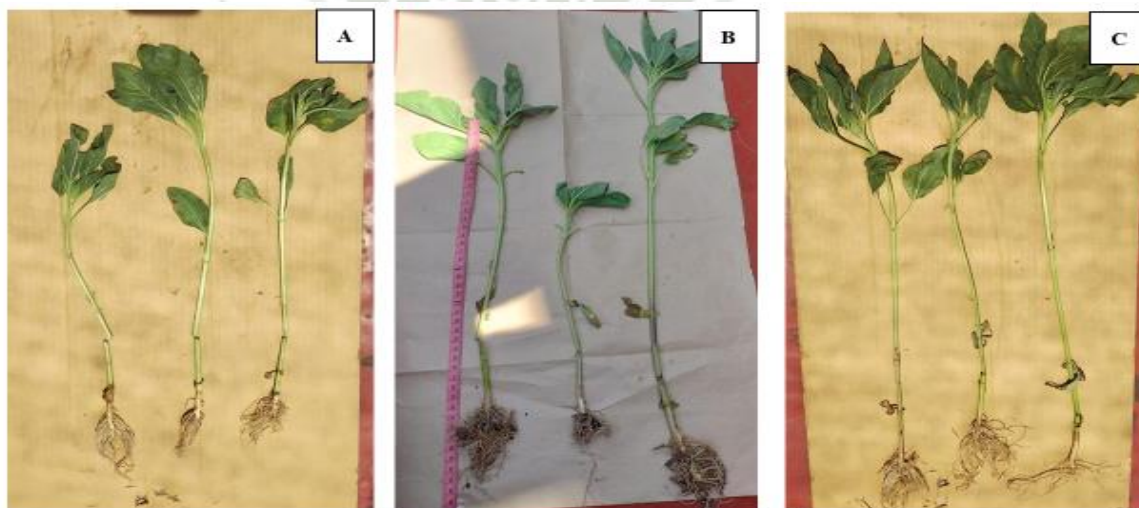
Se realizó la cosecha final de *Helianthus annuus L.* transcurridos 70 días post germinación, esto debido a la alta tasa de mortalidad que se presentaba en cada tratamiento debido al estrés iónico y osmótico al que fue sometida la especie.

4.3.1.1. Crecimiento vegetal

Culminado el tiempo de experimentación se procedió a escoger a los mejores individuos procedientes de cada tratamiento y se tomaron las medidas correspondientes.

Figura 27

Comparación de crecimiento de raíz, tallo y hojas en individuos óptimos por tratamiento



Nota. (A) Se evidencian los mejores individuos obtenidos del tratamiento A (0% - 5% - 10%). En la figura (B) representa los mejores individuos del tratamiento B (0% - 5% -10%). (C) Se muestra a los mejores individuos del tratamiento C con concentraciones de contaminantes al (0% - 5% -10%) respectivamente.

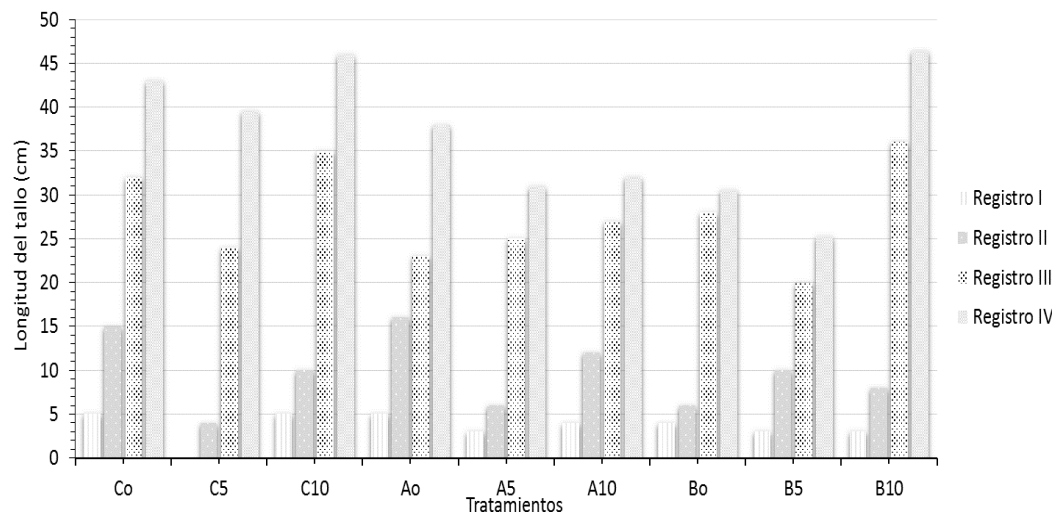
En la figura 28B, se puede observar que el individuo del tratamiento B5 tiene un tamaño significativamente menor en comparación con los individuos colindantes, al igual que su superficie radicular. En el caso específico de *Helianthus annuus L.*, la exposición a Cr

puede reducir la biomasa de las plantas, la longitud del tallo y el número de hojas (Zhang et al., 2010). Además, la contaminación por Pb puede alterar la fotosíntesis y reducir el crecimiento de las plantas, lo que puede llevar a una disminución en la producción de semillas (Singh et al., 2011). La exposición a metales pesados también puede afectar la estructura y función de las raíces de las plantas de *Helianthus annuus L.* Por ejemplo, la exposición a Cr puede reducir la longitud de las raíces y la absorción de nutrientes, lo que puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas (Liu et al., 2022).

Sin embargo, la presencia de *Pseudomona spp.* puede actuar como promotora del crecimiento vegetal, ya que tienen capacidad para solubilizar fosfatos y liberar fitohormonas como auxinas y giberelinas, las cuales favorecen el crecimiento de las raíces, permitiendo la captación de nutrientes, por lo tanto, también el incremento de la biomasa (Glick, B. 2012). Además, pueden inducir resistencia en los individuos a patógenos, esto contribuye a una mayor supervivencia y producción de biomasa en condiciones adversas. (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Esto se ve reflejado en el individuo del tratamiento B10 en la figura B, y en el individuo del tratamiento C10 en la figura C, con visiblemente más altura de tallo, presencia de hojas y mayor masa de raíz.

Figura 28

Control del Crecimiento vegetal del tallo según nivel de contaminación

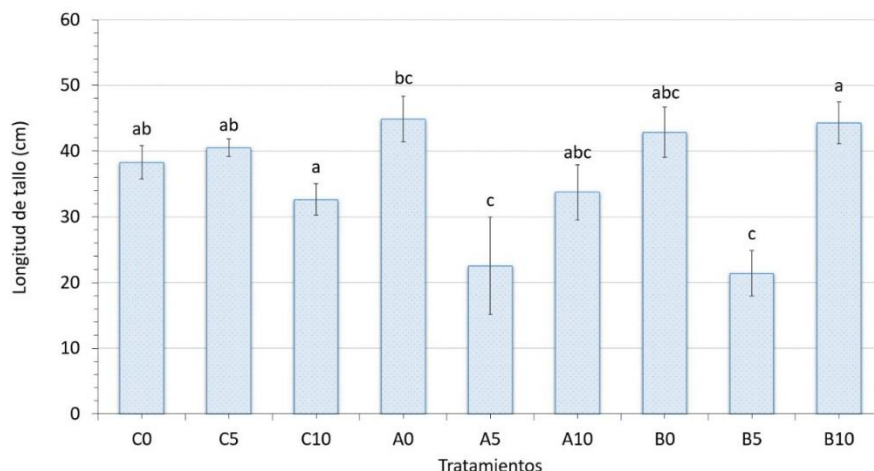


En la Figura 29 se describe, el crecimiento de la altura del tallo en cm según nivel de contaminación, obteniéndose datos de cuatro registros en total. Para el registro I, se puede apreciar que la altura en los controles (C0, A0 y B0) con valores de (5,5 y 4) respectivamente, son mayores en comparación a los demás tratamientos con valores que oscilan entre 0 cm y 3 cm. Esto se relaciona con la presencia de metales pesados, que pueden inhibir la biosíntesis de hormonas vegetales, además que, en suelos no contaminados, los nutrientes esenciales para el crecimiento están disponibles en cantidades óptimas (Marschner, 2012).

Según Kumar et al. (2014), los metales pesados causan un estrés severo que detiene el crecimiento de raíces y limita la disponibilidad del agua y nutrientes generando un crecimiento reducido. Esto se complementa con la investigación de Kabata-Pendias (2001), que plantean que los metales pesados alteran además la homeostasis de nutrientes esenciales, afectando directamente al crecimiento de las plantas.

Para el registro II, los valores siguen la misma dinámica, pero con valores de altura de tallo que ahora oscilan entre 4 cm y 16 cm. Es a partir del registro III, en el que se presentan diferencias significativas, si bien la altura del tallo de los controles (C0, A0, y B0) se mantienen con valores elevados como 32 cm, 23 cm y 28 cm, los valores para el tratamiento (C10, A10 Y B10) tienen datos aún mayores, con alturas de 35 cm, 27 cm y 36 cm respectivamente, estos resultados se relacionan directamente con la añadidura de compost a los tratamientos, este aumenta la porosidad, aireación y retención del agua, facilitando así el crecimiento radical y desarrollo del tallo (Hartmann et al., 2014).

Así mismo, la inoculación de *Pseudomona spp.* a los individuos de los tratamientos, mejora la disponibilidad de nutrientes, al solubilizar fosfatos, producir ácidos orgánicos y liberar nutrientes (Khan et al., 2009). Además de producir hormonas vegetales, como auxinas, las cuales estimulan el crecimiento del tallo (Glickman y Dessaux, 1995). Ante ello, es correcto afirmar que los tratamientos (C5, A5, B5) y (C10, A10, B10) obtuvieron el mayor crecimiento de tallo en la etapa final o en los últimos registros debido a la presencia de compost y la inoculación de *Pseudomona spp.* a la rizósfera de *Helianthus annuus L.*

Figura 29*Longitud final de tallo por tratamiento*

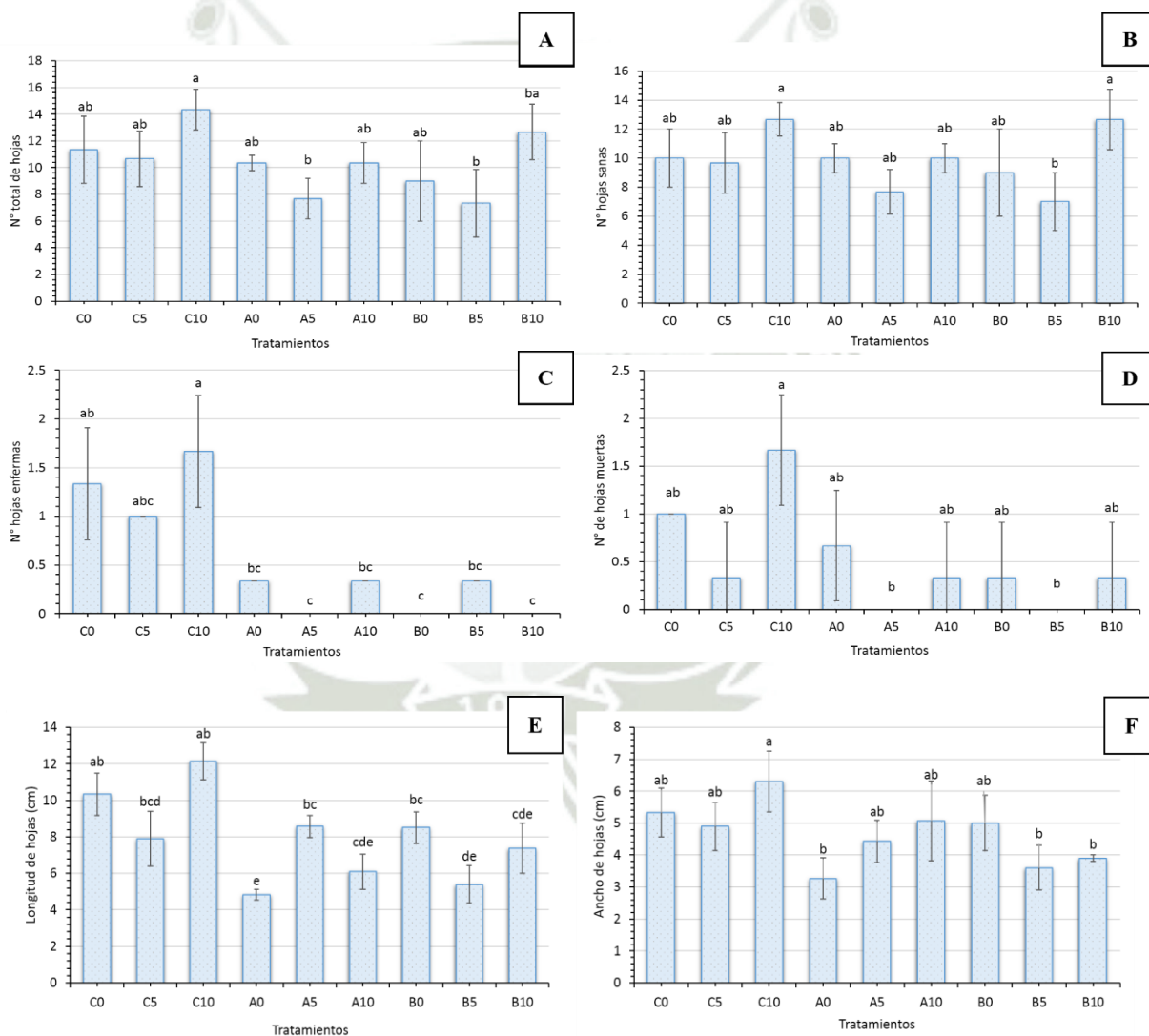
La Figura 30 nos muestra el promedio de la longitud final del tallo de la especie *Helianthus annuus L.* sometida a distintos niveles de contaminación, como se observa el crecimiento se mantiene casi igual en el grupo control a pesar de estar sometido a concentraciones altas de suelo contaminado a excepción de C10 (10% de suelo contaminado) el cual experimenta una disminución en su longitud que se sugiere está relacionado a la mayor presencia de contaminantes. En el tratamiento A, el crecimiento en A0 (0% suelo contaminado) supera al grupo control en un 17% y al tratamiento B en 4%, logrando indicar así que la asociación de *Helianthus annuus L.* y *Pseudomonas spp.* es óptima en suelos no contaminados. La estabilidad del crecimiento en el grupo control se puede deber a mecanismos de tolerancia de la planta, como la exclusión de iones tóxicos (Marschner, 2012). Y la disminución del crecimiento en C10, puede atribuirse a la naturaleza tóxica de los metales pesados (Kabata - Pendias, 2001).

Estado y crecimiento foliar por tratamiento.

Las Figura 31 rescata la información recopilada por cada registro realizado a lo largo de los 70 días de experimentación

Figura 30

Características visuales de hojas por tratamiento



Nota. (A) Número total de hojas. (B) Número de hojas sanas. (C) Número de hojas enfermas. (D) Número de hojas muertas. (E) Longitud de hojas. (F) Ancho de hojas.

En la Figura 31A,31E y 31F, se observa el número total de hojas por tratamiento y valores de longitud y ancho, los controles (C0, A0 y B0) oscilan entre 11 y 9, y los valores del tratamiento con contaminante al 5% (C5, A5, B5) entre 8 y 7, con valores más bajos, se sabe que la exposición a Cr y Pb puede reducir significativamente el número de hojas y la superficie foliar (Sharma & Dubey, 2005), ya que estos metales pueden ingresar a la planta a través del suelo causando daños en las estructuras celulares y moleculares (Kabata - Pendias, 2001). Además, los metales pesados pueden inhibir la síntesis de clorofila y la fotosíntesis, esto reduce la capacidad de la planta para producir energía y crecer (Sharma & Dubey, 2005). Así como también puede alterar la regulación hormonal de las plantas (Gill & Tuteja, 2010).

Aunque los metales pesados pueden tener efectos negativos en el desarrollo de las plantas, algunas como *Helianthus annuus L.* desarrollan mecanismos de tolerancia para poder sobrevivir en suelos contaminados, desarrollando compuestos que ayudan a normalizar los efectos tóxicos de los metales pesados, como los antioxidantes y las enzimas desintoxicantes (Gill & Tuteja, 2010).

Esto se ve reflejado en los valores para el tratamiento con contaminante al 10% (C10, A10, B10), con el mayor número de hojas, con número oscilantes entre 14 y 13, se puede afirmar en base a lo anterior mencionado que estos individuos tuvieron una mejor adaptación y respuesta ante la presencia de Cr y Pb, y que también fue potenciado por la inoculación de *Pseudomona spp.* a su rizósfera.

En la Figura 31B,31C y 31D se presentan el número de hojas sanas, enfermas y muertas, para los diversos tratamientos, el mayor número de hojas sanas son para los tratamientos A10 y B10, con valores oscilantes entre 10 y 13, y valores altos de hojas

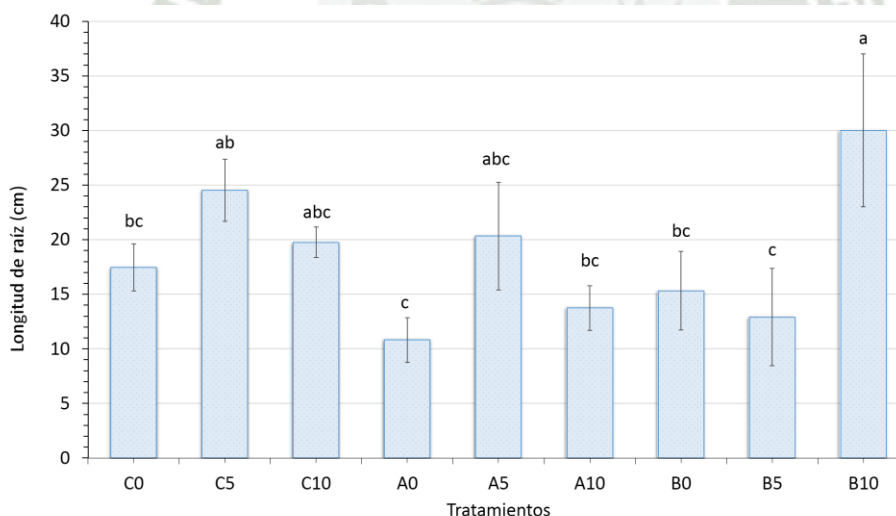
enfermas y muertas en C10%, se puede decir que esto es causado por el mayor porcentaje de contaminante (10%). Teniendo en cuenta que el cromo puede inhibir el crecimiento de las raíces y el desarrollo de las hojas, lo que lleva a una reducción en el número de hojas verdes y un aumento en el número de hojas secas (Martínez et al., 2013).

Crecimiento de raíz por tratamiento

Finalizada la experimentación, se recolectaron muestras generales del grupo control y cada tratamiento, se midió la longitud de la raíz para observar los efectos del nivel de contaminación y la presencia de *Pseudomonas spp.*

Figura 31

Desarrollo del crecimiento de raíz según nivel de contaminación



Nota. La medición de la longitud de raíz se realizó desde el cuello hasta la cofia.

Según los valores obtenidos en la medición de raíz de los individuos de *Helianthus annuus L.* finales se puede observar que C0 y B0 (0% de porcentaje de suelo contaminado), tuvieron mayor longitud de raíz; Por otro lado, para el tratamiento A, se registraron valores

casi constantes a excepción de A5 (5% de suelo contaminado), el cual logró una pequeña diferencia entre su propio control y el nivel más contaminado con metales pesados

Si bien diversos estudios (Alvarado et al., 2011; Martínez et al., 2013) refieren que las raíces tienden a disminuir su crecimiento en presencia de Pb y Cr, limitando el desarrollo de la raíz primaria entre un 20% y 40%, y las raíces secundarias en 60%, debido a la afinidad que presentan al contaminante y a la disminución de nutrientes en el medio (Ali et al., 2015; Saleem et al., 2018; Sharma & Shanker Dubey, 2005), la inoculación de rizobacterias tolerantes al plomo (500 a 2000 mg/L) mejoraron su longitud y desarrollo, aumentando en un 24% para la concentración más baja de suelo contaminado en el tratamiento B, en comparación al grupo control con el mismo nivel de contaminación que no tuvo inoculación de *Pseudomonas spp* (Saleem et al., 2018).

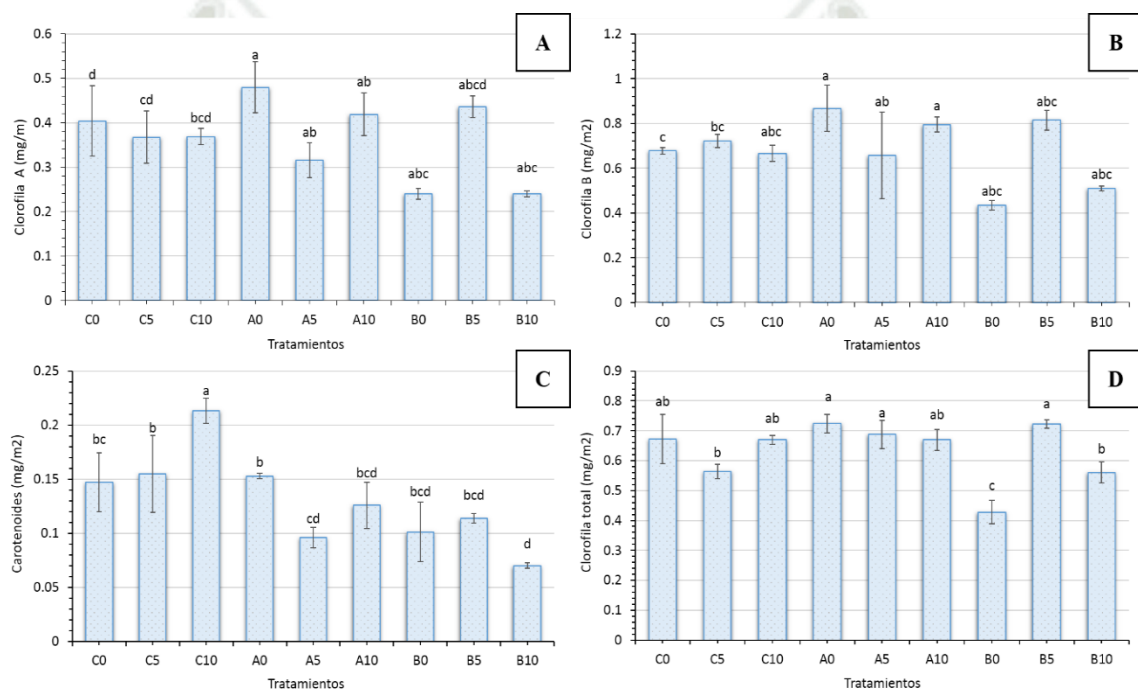
Tomando en cuenta que la raíz es más sensible a la presencia de contaminantes en el medio por ser un órgano especializado en la absorción, secreta enzimas, aminoácidos y azúcares que estimulan el crecimiento radicular, promueven la proliferación de organismos que propician el desarrollo de una red circular pronunciada y ramificada (January et al., 2008; Pernía et al., 2008), se puede confirmar que la presencia de *Pseudomona spp.* ayudó al desarrollo normal de *Helianthus annuus L* favoreciendo al proceso de fitorremediación.

Análisis de pigmentos fotosintéticos por tratamiento

Siguiendo la metodología descrita previamente se analizaron los pigmentos fotosintéticos presentes en los tejidos vegetales

Figura 32

Comparación de Pigmentos fotosintéticos (Clorofila total, Clorofila a, Clorofila b y Carotenoides)



Nota. Valores registrados de (A) presencia de Clorofila A. (B) Presencia de clorofila B. (C) valores de carotenoides. (D) Clorofila total.

La fotosíntesis es un proceso que se ve influenciado por el estrés ambiental, el cual generan especies reactivas de oxígeno (ROS) que desencadenan estrés oxidativo afectando directamente a los componentes fotosintéticos, resultando en fotoinhibición o fotooxidación (Zhao et al., 2022).

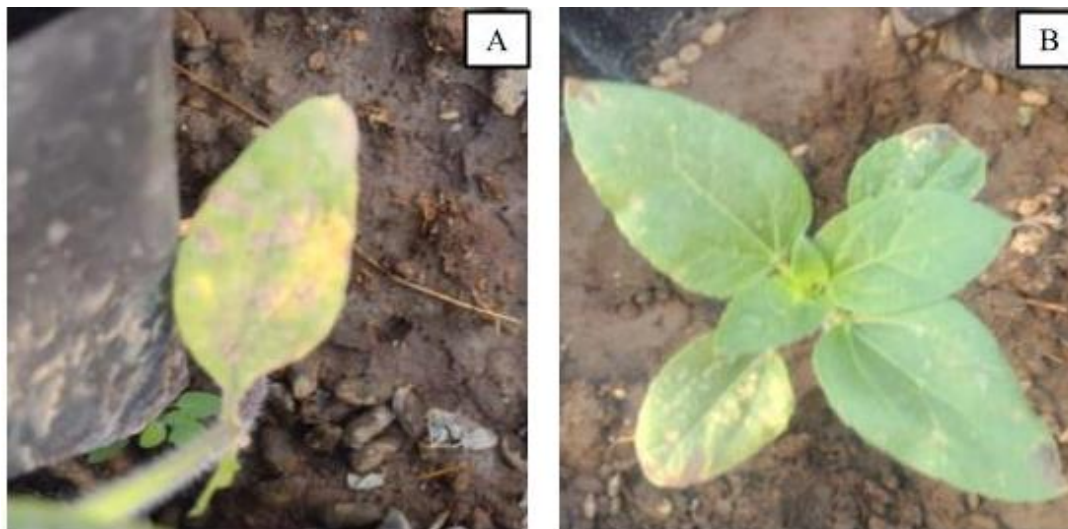
El valor de $p < 0.05$ registrado en la prueba de Tukey para todos los pigmentos nos sugiere que hay diferencia significativa entre los factores analizados.

La Figura 33 demuestra que los niveles más bajos de carotenoides en las plantas son parte de la respuesta frente al estrés y que la concentración de clorofila B es mucho mayor estadísticamente a la clorofila A sugiriendo una reorganización en los sistemas fotosintéticos para hacer frente a la contaminación por metales pesados, que a largo plazo generarán daño oxidativo en las células al sustituir al ion Mg en la molécula de la clorofila imposibilitando la captación de fotones, lo que conlleva a la disminución de la actividad fotosintética (Pernía et al., 2008).

Tanaka & Tanaka (2007) explican que la función de los carotenoides es ser receptores para coleccionar luz y transferirla a los centros de reacción donde evitan el daño fotooxidativo del aparato fotosintético. En el caso de los carotenoides vemos un incremento entre el 30% y 50% en el grupo control frente a los tratamientos, esto debido al estrés que enfrentan y no tener de apoyo el inóculo de *Pseudomonas spp* con el cual cuentan los tratamientos, lo que implica que al ser un pigmento auxiliar que prolifera frente al estrés, ocasionaría clorosis en las hojas de la planta, cambiando sus colores a amarillos o verde pálido (Meléndez-Martínez et al., 2004) (Ver figura 34).

Figura 33

Presencia de clorosis en hojas maduras



Nota. (A) Presencia de clorosis en individuos de grupo control transcurridos 65 días post germinación. (B) Presencia de clorosis en individuos de grupo A con concentración del 10% de suelo contaminado transcurridos 65 días post germinación.

Analizando los valores de clorofila A y B (Figura 28A, 28B), se observa el incremento entre un 15% a 35% de ambos pigmentos en los tratamientos comparados al grupo control, esto sugiere que los tratamientos con *Pseudomonas spp.* logran beneficiar la creación de clorofila debido a que esta especie produce un tipo de auxina, ácido indol 3-acético, el cual está encargado de participar en la división celular, germinación de semillas, control de crecimiento vegetativo, fotosíntesis, síntesis de pigmentos y metabolitos secundario e inducción de raíces laterales y adventicias (Sánchez & Guerra, 2022).

Sin embargo, si se analiza la relación clorofila A y B, en el caso de los tratamientos, se observa que hay mayor presencia de Clorofila “B” comparado a Clorofila “A” esto

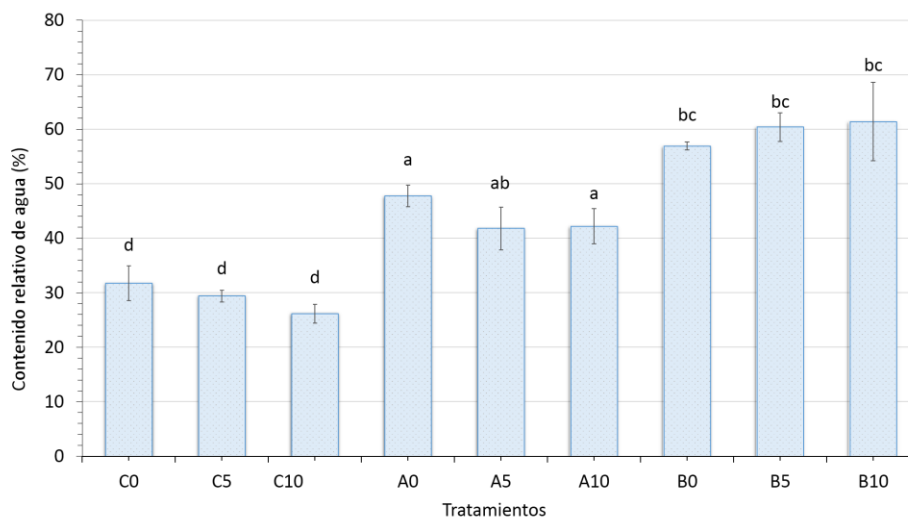
concuera con lo reportado por Souahi (2021), quien explica que este proceso de disminución es una respuesta a la presencia de ROS por la convergencia de factores abióticos estresantes. En el presente caso la alta concentración de metales pesados como el Plomo y Cromo, alteran la ultra estructura del cloroplasto, inhibiendo la fotosíntesis (Mamani & Mendoza, 2022), disturban la biosíntesis de la clorofila, debido a que tienden a reducir la clorofila “A” por el incremento en la actividad de la enzima clorofilasa, produciendo que la clorofila “B” se convierta en tipo “A”, reduciendo así el CO₂ a carbohidratos que serán utilizados posteriormente en los procesos de la planta (Blaz Aponte & Rodriguez Espejo, 2015).

██████████ Análisis de contenido relativo de agua

Las plantas absorben agua y nutrientes por las raíces, un exceso de iones metálicos en los tejidos puede interferir en este proceso, generando estrés osmótico. El contenido relativo de agua es un índice que permite evaluar el estado hídrico de la planta, mide el porcentaje de agua en un tejido, considerando el punto de turgencia máxima el 100% del contenido de agua (Borjas et al., 2015).

Figura 34

Contenido relativo de agua en Helianthus annuus L. por tratamiento



Nota. Datos obtenidos posteriores al análisis en estado de turgencia

En el grupo control, el Contenido Relativo de Agua (CRA) se redujo un 10% y 20% en suelos con concentraciones de metales pesados del 5% y 10%, respectivamente, lo que sugiere un impacto adverso en la capacidad de retención hídrica bajo condiciones de altas concentraciones de metales pesados que influyen en la reducción de la tasa de transpiración y la resistencia de los estomas en las hojas; si los suelos tienen altos contenidos de sales, el potencial osmótico en la solución del suelo puede llegar a ser menor, restringiendo severamente la tasa de absorción de agua por las plantas llevando a generar estrés osmótico (Rucińska-Sobkowiak, 2016).

En el tratamiento A, el CRA se incrementó en un 48%, 27% y 19% en suelos con niveles de contaminación del 0%, 5% y 10%, respectivamente. Por otro lado, en el

tratamiento B, los incrementos fueron aún más significativos, alcanzando un 75%, 77% y 68% para los mismos niveles de contaminación.

Esto indica una respuesta positiva de las plantas al apoyo de *Pseudomonas spp*, especialmente en el tratamiento B, que presenta una mayor eficacia en la retención de agua incluso en condiciones de alta contaminación que representan una situación de estrés, valores que coinciden con los reportados por Waseem et al. (2024), al utilizar *P. sundara* y *S. stutzerie* como inóculo bacteriano los cuales demostraron tener un efecto positivo sobre el contenido relativo de agua.

La inoculación con *Pseudomona pp.* mostró una mejora en el CRA de las plantas debido a la producción de moléculas que funcionan como osmoprotectores, las cuales mantienen el equilibrio de los fluidos celulares a través de una mayor producción de azúcares y la acumulación de aminoácidos como la prolina que ayudan a promover el crecimiento vegetal frente a condiciones de estrés hídrico y que mantienen el estado de las membranas celulares y el estado hídrico celular (Rodríguez-Sahagún et al., 2020; Sandhya et al., 2010).

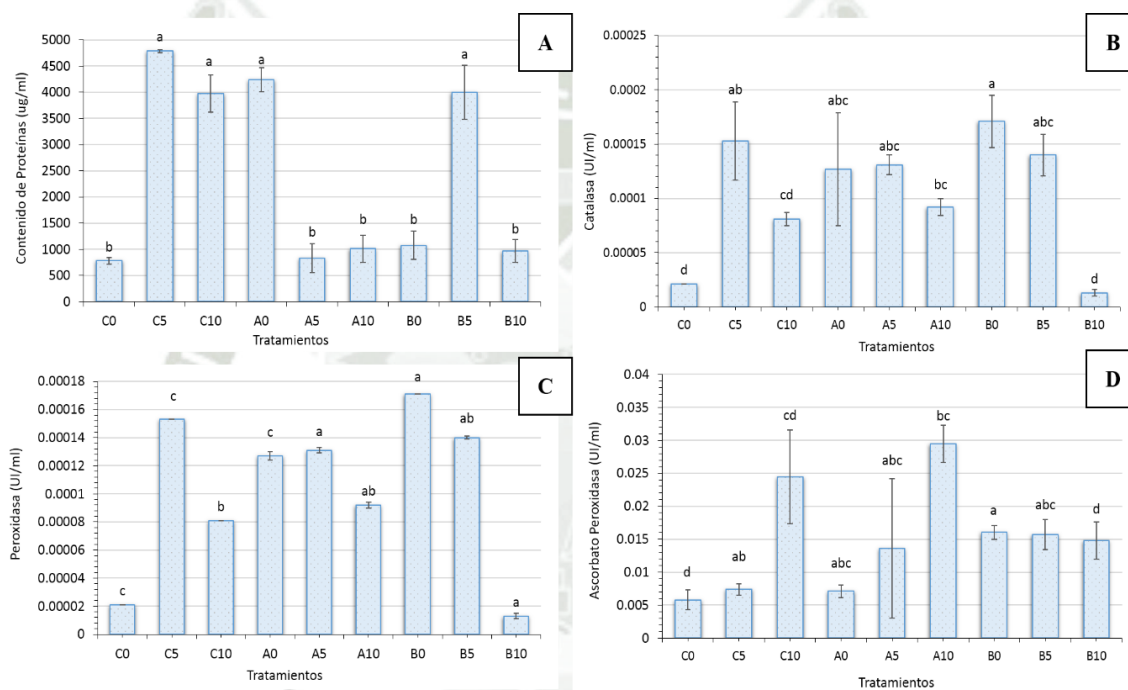
Evaluación de la actividad enzimática

A. Análisis de proteínas por Método de Lowry y determinación de catalasa, peroxidasa y ascorbato peroxidasa

Figura 35

Análisis de concentración de proteínas y enzimas en tejidos vegetales de Helianthus annuus

L.



Nota. (A) Análisis de concentración de proteínas por método de Lowry. (B) Actividad de enzima catalasa. (C) Actividad de enzima peroxidasa. (D) Actividad de enzima ascorbato peroxidasa en *Helianthus annuus* L. post-cosecha frente a tratamientos de suelos contaminados con metales pesados a diferentes concentraciones.

La figura 36A muestra la relación de la concentración de proteínas en (µg/ml) determinado por el Método de Lowry, respecto a diferentes concentraciones de

contaminantes. Se buscó determinar el contenido proteico de muestras vegetales, debido a que la cantidad de proteína es un indicador del estado metabólico de las plantas y la capacidad para responder al estrés ambiental y absorber contaminantes. Se observa mayor actividad proteica en el grupo Control (C5 y C10), bajo concentraciones de 5% y 10% de suelo contaminado respectivamente, de igual manera en los tratamientos A0 (0% de suelo contaminado) y tratamiento B5 (5% de suelo contaminado). Se considera a las proteínas y enzimas como biomarcadores convencionales, al presentar cambios en su actividad frente a la presencia de contaminación mediante respuestas biológicas (Fernández Cisnal, 2016).

En respuesta al estrés oxidativo producido por la exposición a suelos contaminados con metales, *Helianthus annuus L* crea especies reactivas de oxígeno (ROS) que dañan membranas celulares, generan mutaciones y oxidan biomoléculas; por ello activa su sistema de defensa antioxidante aumentando la producción de enzimas antioxidante con el fin de metabolizar los radicales liberados, los antioxidantes abarcan enzimas peroxidasas como Ascorbato Peroxidasa (APX), Catalasa (CAT) y Peroxidasa (POD) (González Miranda, 2016; Sachdev et al., 2021).

Se considera que las mediciones de actividad enzimática pueden ser útiles como biomarcadores tempranos en bioensayos de plantas que emplean como sustrato suelo contaminado (Pernía et al., 2008).

El análisis realizado demuestra que las plantas responden al estrés oxidativo activando un mecanismo de protección, siendo una de las respuestas principales la activación de la catalasa (CAT) (Ver Figura 32B) que permite la neutralización del H_2O_2 y previene el daño oxidativo en las células de las plantas por presencia de concentraciones elevadas de metales. La peroxidasa (POD) es una enzima que interviene en procesos fisiológicos como la

lignificación, metabolismo de las auxinas, tolerancia a sales, estrés hídrico y defensa frente a patógenos (Ajithkumar & Panneerselvam, 2014).

Por otro lado, la ascorbato peroxidasa (APX) juega un rol fundamental al mantener la integridad celular y promover el normal desarrollo de la fotosíntesis, facilitando el crecimiento de las plantas en suelos contaminados y mejorando la eficiencia de procesos de fitorremediación (Peralta Pérez & Volke Sepúlveda, 2012).

El análisis demuestra que la actividad enzimática aumentó de manera significativa en las concentraciones de 5% y 10% de suelo contaminado para el grupo control (sin inóculo de *Pseudomona spp*) y para el tratamiento A, sin embargo, en el caso del tratamiento B se observa una disminución de la actividad enzimática general, lo que puede sugerir que a altos niveles de contaminación la actividad antioxidante de las plantas se ve disminuida o inhibida.

La Catalasa (Figura 36B) es una enzima que aumenta frente a situaciones de estrés, por ello es congruente con los valores mínimos registrados en el C0 (0% de suelo contaminado y sin inóculo de *Pseudomona spp.*) y de igual manera con las concentraciones 0% de contaminación de los tratamientos A y B, debido a que, si bien no están expuestos a contaminantes, el inóculo de *Pseudomona spp.* influye en el aumento de la actividad de la catalasa para reducir la presencia de ROS que se forman normalmente durante la fotosíntesis.

En el caso de la Figura 36C, los valores más altos registrados de la Peroxidasa se encuentran en las concentraciones de 5% y 10% en el grupo control, lo cual corresponde a la presencia de diferentes valores de contaminación sin ayuda de inóculo de *Pseudomona spp.* Sin embargo, en los tratamientos A y B los valores más altos se presentaron en las concentraciones 0% y 5% de suelo contaminado esto debido a la acción del inóculo que

tiende a promover la actividad enzimática frente a situaciones de estrés oxidativo y buscando mejorar la resistencia de la planta (Prasad Vurukonda et al., 2016).

El análisis de APX (Ver Figura 36D) demuestra mayor actividad en las concentraciones 5% y 10% del grupo Control sin apoyo de un inóculo de *Pseudomona spp* y en el tratamiento A bajo las mismas condiciones, sin embargo, en el tratamiento B, la enzima mantiene valores similares, lo que indica que la actividad del inóculo es favorecedora al permitir a la planta adaptarse frente al estrés.

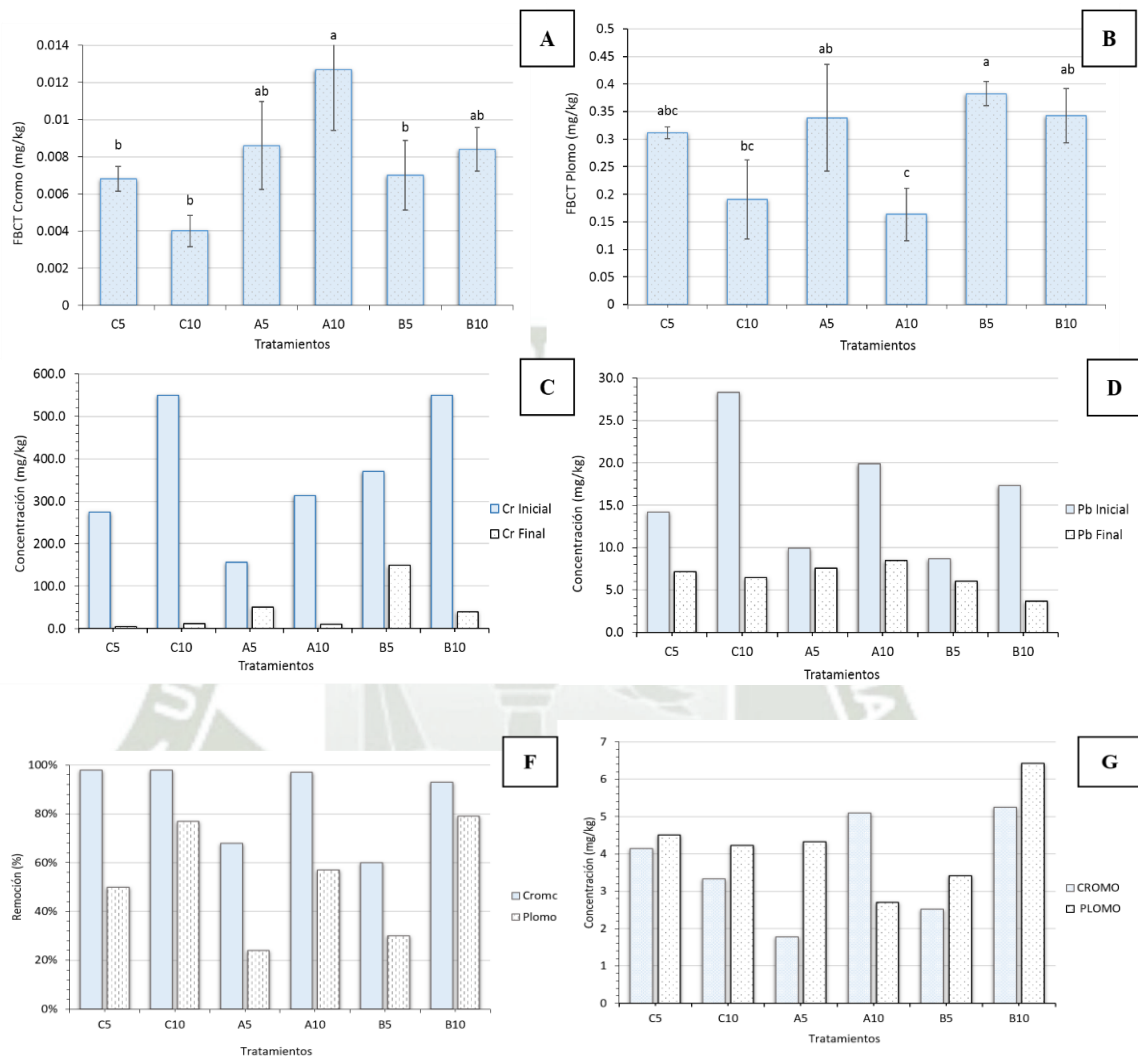
Estos resultados coinciden con los estudios de Waseem et al. (2024) y lo mencionado por Zhao et al. (2022), donde se observa que la actividad antioxidante varía según la producción de ROS en plantas estresadas frente a diversos factores ambientales y la activación de sus mecanismos de respuesta. En el caso de estudio que se ve sometido a altas concentraciones de metales, principalmente Cr y Pb, la especie desarrolla mecanismos de reducción que le permitan proseguir el proceso de fitorremediación, sin embargo, se debe recordar que la actividad enzimática se ve relacionada directamente a diversos factores como el pH temperatura salinidad, etc., por lo que la evaluación final de la actividad enzimática antioxidante se ve modificada por estos parámetros (Pérez Leal, 2017).

4.4. Determinar el porcentaje de remoción total de metales pesados en suelo y el factor de bioacumulación total de metales pesados en tejidos vegetales de *Helianthus annuus L.*

Se realizó el análisis con los datos base de concentración de Cr y Pb en suelos y tejidos vegetales para hallar valores de bioconcentración y remoción que permitan identificar el comportamiento de *Helianthus annuus L.*, en asociación a bacterias autóctonas (*Pseudomona spp*).

Figura 36

Factor de Bioconcentración total y remoción de cromo y plomo en Helianthus annuus L.



Nota (A) Factor de bioconcentración total de Cr. (B) Factor de Bioconcentración total de Pb. (C) Concentración inicial y final de Cr en suelo (D) Concentración inicial y final de Pb en suelo. (E) Porcentaje de remoción de Cr y Pb en suelo. (G) Valores finales de concentración de Cr y Pb en tejidos vegetales.

El Factor de Bioacumulación total mide la relación de la cantidad de metal presente en la planta frente a la cantidad de suelo, indicando así el potencial de absorción de un metal pesado (Acevedo et al., 2021).

La prueba de ANOVA nos dio un valor $p=0.004$ para el FBCT de Cromo y $p=0.000$ para el FBCT de Plomo (Anexo 11), por lo que esto implica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos realizados frente a la bioacumulación de metales en *Helianthus annuus L.*

Se registran niveles más altos de bioconcentración de Cromo en el grupo control con 5% de suelo contaminado y en los tratamientos A y B de 10% de suelo contaminado con valores de 0.0151 mg/kg, 0.1269 mg/kg y 0.0084 mg/kg respectivamente; datos que concuerdan con los porcentajes de remoción analizados los cuales llegan a valores de 98% en el control C5 (5% suelo contaminado), 97% en tratamiento A10 (10% suelo contaminado) y 93% en tratamiento B10 (10% suelo contaminado), con relación a los valores de concentración final de metales en tejidos vegetales de 4.14mg/kg, 5.1 mg/kg y 5.25 mg/kg correspondientemente.

En el caso del Plomo, los valores más altos se registran para el grupo control y el tratamiento A en concentración 5% de suelo contaminado con registros de 0.3115 mg/kg y 0.3388 mg/kg respectivamente y porcentajes de remoción de 50% y 24%

Por el lado del tratamiento B, el valor más representativo fue el de B5 (5% de suelo contaminado) con valores de 0.3825 mg/kg y un porcentaje de remoción del 30%. La acumulación de plomo se correlaciona con la disminución del tamaño del tallo, desarrollo limitado de las raíces y la inhibición de la biosíntesis de clorofila y de la

biomasa del girasol en los individuos pertenecientes a ambos tratamientos, efectos comúnmente asociados a la exposición a valores altos de plomo (Mehra, 1994; Solis Mendoza et al., 2012).

Si bien Huaranga et al. (2022) refiere en su investigación sobre *Helianthus annuus L.* que el plomo tiende a permanecer en las raíces debido a su afinidad por las superficies y paredes celulares, los altos valores observados en la biomasa entera se atribuyen a la acción de las *Pseudomona spp.* presentes en los inóculos.

En el caso del cromo se conoce que algunas especies de *Pseudomona spp* pueden reducir el Cr (VI) a Cr (III) mediante la acción de enzimas reductasas, disminuyendo así la toxicidad del cromo y facilitando la absorción para las plantas para lograr bioacumular al contaminante en la biomasa vegetal, reduciendo la carga del contaminante en el medio (Ramírez Díaz et al., 2009).

Comprobando los resultados de concentración final de Cromo y Plomo en suelos, donde la remoción fue en orden $Cr > Pb$ en el grupo control como en los tratamientos A y B se afirma que los valores registrados ahora son menores al ECA de suelos estipulado por D.S. 011-2017-MINAM por lo cual se comprueba la eficiencia del proceso de fitorremediación.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

PRIMERA: El Parque Industrial Río Seco revela un perfil de contaminación significativo con alcalinidad elevada, alta salinidad y presencia de metales pesados, principalmente plomo (Pb) y cromo (Cr) con valores de 207.14 mg/kg y 5,853 mg/kg respectivamente, esto limita la biodisponibilidad de nutrientes y favorece la fitotoxicidad en plantas, aunado a valores de pH de 8.23 y conductividad eléctrica de 4440 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La estructura del suelo, constituida por partículas muy gruesas disminuyó la capacidad de retención de agua, agravando la fertilidad del suelo por la reducción de materia orgánica. Es por ello que la adición de *Pseudomona spp.*, ofrece una estrategia prometedora para la recuperación de suelos afectados, gracias a su capacidad para mejorar las características del medio y promover el crecimiento vegetal.

SEGUNDA: La identificación de bacterias autóctonas del suelo, como *Pseudomona spp.*, es crucial para la remediación ambiental. Estas bacterias presentes en los suelos del PIRS por su crecimiento exponencial y conocimiento previo del ecosistema, ofrece múltiples beneficios, incluyendo la degradación de compuestos tóxicos, producción de fitohormonas vegetales, mejora de la estructura del suelo, aumento de la biodisponibilidad de nutrientes y reducción del estrés oxidativo e iónico. La interacción planta – microorganismo muestra un gran potencial para restaurar suelos contaminados.

TERCERA: La presencia de metales pesados en el suelo afecta negativamente el crecimiento de *Helianthus annuus L.*, evidenciado por la reducción en la longitud de tallos entre un 8% y 34% en concentraciones de 5%, y 16% en concentraciones de 10% de metales pesados y disminución en diámetro radicular entre el 38% y 49% en grupos con porcentajes

de contaminación del 5% y 10% respectivamente, así como en la biomasa de las plantas. La actividad enzimática de catalasa, peroxidasa y ascorbato se incrementó en los individuos expuestos a suelos contaminados con plomo y cromo, esto indica una respuesta antioxidante favorable frente al estrés oxidativo que fue inducido por la presencia de metales pesados. Este aumento en la actividad enzimática sugiere que los individuos activan mecanismos de defensa para mitigar el daño celular causado por la toxicidad de los metales, lo que a su vez puede influir positivamente en su crecimiento y desarrollo.

CUARTA: El análisis matemático de parámetros químicos, fisiológicos y de contaminación demuestra que la asociación de *Helianthus annuus L.* con bacterias autóctonas, en especial del género *Pseudomonas spp.*, mejora significativamente la capacidad fitorremediadora de la planta en suelos contaminados con metales pesados como Cr y Pb. Los resultados obtenidos a través de análisis estadísticos, como ANOVA y pruebas de Tukey, indican diferencias significativas en la bioacumulación de metales en las plantas tratadas en comparación con los controles, obteniendo los porcentajes más altos de remoción en concentraciones de 10% en el grupo control, así como en los tratamientos, con valores de remoción de Cr entre 93% y 97%, y para valores de remoción de Pb entre 57% y 79%. En el cálculo del factor de bioconcentración, los datos más resaltantes fueron para FBCT de Cr de 0.0151 mg/kg, 0.1269 mg/kg y 0.0084 mg/kg en C5%, A10% y B10%, y FBCT para Pb de 0.3115 mg/kg, 0.3388 mg/kg y 0.3825 mg/kg en C5%, A5% y B5%, evidenciando que la inoculación bacteriana potencia la absorción y acumulación de estos contaminantes en los tejidos vegetales.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda la promoción de ideas estratégicas y diseños tecnológicos basados en remediación específica con la adición de bacterias autóctonas y simbiosis micorrízica para la recuperación de suelos afectados en el PIRS.
- Se sugiere realizar un monitoreo a largo plazo de la calidad del suelo en el área para que se establezca una línea base de información que ofrezca que incluya factores influyentes en la absorción de metales pesados y sus efectos nocivos al medio, logrando así discernir la mejor opción de fitorremediación asistida a aplicarse.
- Se sugiere realizar un estudio de textura previo del suelo, para poder determinar la capacidad de drenaje de agua, además de la retención hídrica y de nutrientes, esto proporcionará las condiciones para la base de la experimentación y poder determinar la cantidad adecuada de ml de agua para el riego sin el riesgo de que los individuos fitorremediadores se marchiten.

5.3. Referencias Bibliográficas

- Abbaszadeh-Dahaji, P., Atajan, F. A., Omidvari, M., Tahan, V., & Kariman, K. (2021). Mitigation of Copper Stress in Maize (*Zea mays*) and Sunflower (*Helianthus annuus*) Plants by Copper-resistant *Pseudomonas* Strains. 78, 1335-1343.
- Acevedo, L., Chacón, H., Meneses, V., & Azabache, A. (2021). Acumulación y distribución de cadmio en plantas de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) cultivada en dos suelos agrícolas contaminados. *Manglar*, 18(4), 443-447. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.057>
- Agnello, A., Potysz, A., Fourdrin, C., Hugonote, D., & Chauhan, P. (2018). Impacto de las escorias pirometalúrgicas en el crecimiento del girasol, la acumulación de metales y las comunidades microbianas de la rizosfera. *Chemosphere*, 208, 626-639.
- Ajithkumar, I. P., & Panneerselvam, R. (2014). ROS Scavenging System, Osmotic Maintenance, Pigment and Growth Status of *Panicum sumatrense* Roth. Under Drought Stress. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 68, 587-595.
- Alcantara Cortes, J., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J., & Sánchez Mora, R. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17(32), 109-129.

Ali, S., Aslam Bharwana, S., Rizwan, M., Farid, M., Kanwal, S., Ali, Q., Ibrahim, M., Ali Gil, R., & Daud Khan, M. (2015). Fulvic acid mediates chromium (Cr) tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) through lowering of Cr uptake and improved antioxidant defense system. *Environ Sci Pollut Res*.
<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4271-7>

Almazán, P., Alarcón, A., García, Ó., Mendarte, C., & Ferrera, R. (2024). Fitotoxicidad y fitorremediación de un suelo contaminado con gasolina utilizando plantas de girasol asistidas por bacterias rizosféricas nativas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 40, 351-362.

Alsafran, M., Saleem, M. H., & Rizwan, M. (2023). An overview of heavy metals toxicity in plants, tolerance mechanism, and alleviation through lysine-chelation with micro-nutrients—A novel approach. *Plant Growth Regulation*, 100, 337-354.

Alvarado, C., Dasgupta-Schubert, N., Ambriz, E., Sánchez-Yañez, J., & Villegas, J. (2011). Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 357-364.

Amari, T., Ghnaya, T., & Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany*, 111, 99-110.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011>

Amat, J. (2016). *Análisis de la homogeneidad de varianza (homocedasticidad)*.
https://www.cienciadedatos.net/documentos/9_homogeneidad_de_varianza_homocedasticidad.html

Amone Luna, R. M., & Barja Peña, M. R. (2019). Capacidad de acumulación de plomo de las especies adventicias *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium ambrosioides* y *Tagetes minuta* en diferentes tipos de suelos [Universidad Peruana Unión].

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2980/Ruth_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias Martínez, S. A., Ferney Mauricio, B. T., Gómez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74, 12-22.

Armada, E. (2015). Efectos de microorganismos rizosféricos autóctonos (bacterias y hongos micorrízicos arbusculares) sobre la tolerancia de las plantas al déficit hídrico en zonas semiáridas: Mecanismos implicados [Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/41123>

Arosquipa Pachari, K., & Huillcañahui Taco, C. (2022). Evaluación de la capacidad de bioacuulación de la *Buddleja* sp para fitorremediar suelos contaminados con cromo total en la Quebrada de Añashuayco, ubicado en el distrito de Uchumayo, Arequipa [Universidad Nacional de San Agustín]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b2a796b2-4bb5-451c-a23c-73cf9b3ff912/content>

Ascención Mendoza, J. C. (2018). *Contenido de clorofila y carotenoides en relación a las horas luz en Cedrela odorata linneo* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5092/T010_45307768_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ATSDR. (2012). *Resúmenes de Salud Pública—Cromo (Chromium)*. División de Toxicología y Ciencias de la Salud.

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html#bookmark1

Awasthi, G., Chester, A., Chaturvedi, R., & Prakash, J. (2015). Study on Role of *Pseudomonas aeruginosa* on Heavy Metal Bioremediation.

INTERNATIONAL JOURNAL OF PURE & APPLIED BIOSCIENCE, 3(4), 92-100.

Bárcena Ruiz, J. A., Abri Díaz, N., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A.,

Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., Meléndez-Valdés, F., & Túnez

Fiñana, I. (2020). *Espectrofotetría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*.

https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf

- Barreto, D., Valero, N., Muñoz, A., & Peralta, A. (2007). *Efecto de Microorganismos Rizosféricos sobre Germinación y Crecimiento Temprano de Anacardium Excelsum* [Universidad Popular del César]. <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%20000%20art18.pdf>
- Barrón, H. (2015). <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/2095> [https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/2095]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/2095/1/182150.pdf>
- Barros, M. J., Rendina, A. E., & De Iorio, A. R. F. (2005). Cambios en la biodisponibilidad de cromo en un suelo inducido por la incorporación de materia orgánica. *Faculta de Agronomía*, 25(2), 145-151.
- Beltrán Pineda, M. E., & Gomez Rodríguez. (2016). BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CADMIO (Cd), CROMO (Cr) Y MERCURIO (Hg) MECANISMOS BIOQUÍMICOS E INGENIERÍA GENÉTICA: UNA REVISIÓN. *Facultad de Cencias Básicas*, 12(2), 172-197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Benavides, M., Gallego, S., Groppa, M., Pena, L., & Zawoznik, M. (2023). El suelo: Un recurso natural fundamental para la vida. *Farmacia y Bioquímica en Foco*. <http://enfoco.ffyb.uba.ar/content/el-suelo-un-recurso-natural-fundamental-para-la-vida>

- Benjumeda Muñoz, D. (2017). *Bacterias Promotoras Del Crecimiento Vegetal: Mecanismos y Aplicaciones (Revisión Bibliográfica)* [Universidad de Sevilla]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/65140/BENJUMEA%20MU%C3%91OZ%2C%20DANIEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bhanse, P., Kumar, M., Singh, L., Kumar Awasthi, M., & Qureshi, A. (2022). Role of plant growth-promoting rhizobacteria in boosting the phytoremediation of stressed soils: Opportunities, challenges, and prospects. *Chemosphere*, 303(1).
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134954>
- Bhupinder, D. (2017). Bioremediation Technologies for the Removal of Pollutants. En *Advances in Environmental Biotechnology* (pp. 69-91). Springer. https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2178/chapter/10.1007/978-981-10-4041-2_5
- Blago, R. (1994). Espectroscopía de absorción atómica. En *Control de calidad de insumos y dietas acuícolas* (Emilio Castro Campos, 1-16).
<https://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm>
- Blaz Aponte, M., & Rodriguez Espejo, M. (2015). EFECTO DEL PLOMO EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Acacia macracantha* Humb. & Bonpl. Ex Willd. “Espino” EN CONDICIONES DE LABORATORIO. *SAGASTEGUIANA*, 3(1), 87-104.

- Borjas, R., Rebaza, D., & Julca, A. (2015). Contenido hídrico de dos variedades de olivo (*Olea europaea* L.) en el Valle de Cañete, Lima-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 6(3), 147-154.
- Bóto, M., Magalhães, C., Perdigão, R., Alexandrino, D., Fernandes, J., Bernabeu, A., Ramos, S., Carvalho, M., I Semedo, M., LaRoche, J., Almeida, M., & Mucha, A. (2021). *Harnessing the Potential of Native Microbial Communities for Bioremediation of Oil Spills in the Iberian Peninsula NW Coast*. 12, 1-17.
- Bricker, T. J., Pichtel, J., & Simmons. (2001). Phytoextraction of Pb and Cd from a superfund soil: Effects of amendments and croppings. *Journal of Environmental Science and Health*, 36(9), 1597-1610.
<https://doi.org/10.1081/ese-100106245>
- Britania Lab. (2012). *Triple Sugar Iron Agar*.
https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_6070971eb11bd.pdf
- Britania Lab. (2023). *Nutritivo Agar*.
https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_64fb60610bfb5.pdf
- Buendia Ríos, H., Cruz Reyes, F., Meza Arquíñigo, C., & Arévalo Zumaeta, J. (2014). Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *Alma Mater*, 1(1), 113-121.

- Callicó, A., Cedré, B., Sifontes, S., Torres, V., Pina, Y., Callis, A., & Esnard, S. (2004). Caracterización fenotípica y serológica de aislamientos clínicos de *Pseudomonas aeruginosa*. *VacciMonitor*, 3.
<http://scielo.sld.cu/pdf/vac/v13n3/vac01304.pdf>
- Campos y Covarrubias, G., & Lule Martinez, N. E. (2012). La Observación, un método para el estudio de la realidad. *Xihmai*, 7(13), 45-60.
- Carranza Bautista, H. (2009). *Bioacumulación de cadmio en plantas silvestres de la zona de Xochimilco con potencial para fitorremediación* [Universidad Nacional Autónoma de México].
https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000643630/3/0643630_A1.pdf
- Carrasco Sánchez, J. (2017). *Respuesta al estrés hídrico en plantas mediterráneas. Perspectiva frente al cambio climático* [Universidad Complutense de Madrid].
<https://docta.ucm.es/entities/publication/7f02cca1-64b6-4e82-b65c-fa32051adfe0>
- Cary, E., Allaway, W. H., & Olson, O. (1977). Control of chromium concentrations in food plants. 2. Chemistry of chromium in soils and its availability to plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 305-309.

- Castañeda, J. (2022). *Capacidad fitorremediadora del maíz y girasol en suelos contaminados del botadero municipal de Lucma* [Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31486/Julca%20Casta%20c3%b1eda%20Jhack%20Jhelsin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castañeda, S., & Canchan, S. (2022). *Efecto de dos enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por dos plantas cultivadas en suelo contaminado*. [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13300/1/IV_FIN_107_TE_Casta%20c3%b1eda_Canchan_2023.pdf
- CCME. (1999). *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health*. <https://ccme.ca/en/resources/soil-and-groundwater#>
- CCME. (2007). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*.
https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/canada/soil/rev_soil_summary_tbl_7.0_e.pdf
- Cerrón Mellado, S. (2022). *Reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris mediante fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11364/2/IV_FIN_107_TE_Cerron_Mellado_2022.pdf

- Chauhan, P., Rajguru, A. B., Dudhe, M. Y., & Mathur, J. (2020). Eficacia de la fitoextracción de plomo (Pb) de cinco variedades de *Helianthus annuus* L. en suelo contaminado. *Environmental Technology & Innovation*, 18. <https://doi.org/100718>
- Chávez Rodríguez, L. (2014). *Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2435/T01-C517-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cherlinka, V. (2022). *Deficiencia De Nutrientes En Las Plantas: Cómo Tratarla*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/deficiencia-de-nutrientes-en-las-plantas/>
- Cherlinka, V. (2023). Cultivo De Girasol: De la Siembra a la Cosecha. *EOS DATA ANALYTICS*. <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-girasol/>
- Chico, J., Cerna-Rebaza De Chico, L., Rodríguez- Espejo, M., & Guerrero-Padilla, M. (2012). Remedial capacity of sunflower, root when submitted to different concentrations of lead. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 32(2), 13-19.
- Chiriví, J., Fajardo, C., Gómez, L., & Delgado, S. (2019). *Revisión y panorama nacional de la biorremediación microbiana*. <https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/view/102/90/395>
- Chitiva Urbina, L., & Dussán, J. (2003). Evaluación de matrices para la inmovilización de *pseudomonas* spp. En biorremediación de fenol. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2(2), 5-10.

Ciancaglini- Prosap, N. (2023). *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales.
http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

CIVICUS. (2001). *Seguimiento y evaluación*.
<https://www.civicus.org/view/media/Seguimiento%20y%20evaluacion.pdf>

Comisión de Recursos Genéticos para la alimentación y la Agricultura. (2023). *Biorremediación y microorganismos e invertebrados de los suelos implicados en el ciclo de los elementos nutritivos. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura, 19*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0b8b3ea8-6f0b-41e8-afe7-4e1ddd508c2d/content>

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2006). *ORDEN 2770/2006* [Legislación de la Comunidad de Madrid].
https://gestion.comunidad.madrid/wleg_pub/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf?opcion=VerHtml&nmnorma=4097&eli=true#no-back-button

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. (2023). *Bacterias que ayudan a las plantas a crecer. INECOL*.
<https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=122#:~:text=Adem%C3%A1s%20del%20g%C3%A9nero%20Bacillus%20otras,cultivos%20para%20combatir%20importantes%20pat%C3%B3genos.>

- Cunningham, S. D., & Lee, C. R. (1995). Phytoremediation: Plant based remediation of contaminated soils and sediments. En *Bioremediation: Science and applications. Special publication*.
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Bioestadística y Epidemiología*.
<http://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Dantán, E., & Pérez, R. (2020). Plantas y bacterias, un vínculo para la vida. *Inventio*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8076978.pdf>
- Das, K., & Mukherjee, A. (2007). Crude petroleum-oil biodegradation efficiency y of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresour. En Technol* (Vol. 98, pp. 1339-1345). 10.1016/j.biortech.2006.05.032
- De Gara, L., Locato, V., C. de Pinto, M., & Dipierro, S. (2010). Homeostasis redox en plantas. El desafío de vivir con producción endógena de oxígeno. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 173, S13.S19.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.resp.2010.02.007>
- De los Santos Vázquez, K. (2018). Impacto Económico de la Fitorremediación de Suelos Contaminados con Arsénico Utilizando Maíz (*Zea mays*), Girasol (*Helianthus annuus*) y Alfalfa (*Medicago sativa*) [Universidad Autónoma Agrara Antonio Narro].
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46752/K%2065793%20De%20los%20Santos%20V%c3%a1zquez%2c%20Karina%20Margarita.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Decreto Supremo N° 003 [PRODUCE] (2002).

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

Decreto Supremo N° 011 [MINAM], 4 (2017).

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>

Decreto Supremo N° 012 [MINAM], 7 (2017).

https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds_012-2017-minam.pdf

Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011).

Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación.

Tropical and subtropical agroecosystems, 14(2).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002#:~:text=La%20fitorremediaci%C3%B3n%20es%20un%20conjunto,y%20microorganismos%20asociados%20a%20ellas.

Delgado, C. (2022). Biorremediación de suelos contaminados por diésel mediante

el aprovechamiento de los biosólidos compostados por la empresa

Ecothani S. A. C., Cusco—2021 [Universidad Continental].

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12238/4/IV_FIN_107_TE_Delgado_Paredes_2022.pdf

Díaz, M., Pérez, Y., Prieto, M., Wencomo, H., & Lugo, Y. (2010). Determinación

de antioxidantes enzimáticos en variedades e híbridos de *Morus alba*.

Pastos y Forrajes, 33(3), 3-5.

- Duan, X., Luo, L., Dai, S., Ding, Z., Xia, G., & Yu, Z. (2020). How Plant Hormones Mediate Salt Stress Responses. *Trends in Plant Science*, 25(11), 1117-1130.
- Duque, C. (2015). Revisión del potencial biológico de las bacterias sulfato— Reductoras para la mitigación de metales pesados contaminantes en aguas de uso industrial.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7493/tesis%20Esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eevers, N., White, J., Vangronsveld, J., & Weyens, N. (2017). Bio- and Phytoremediation of Pesticide-Contaminated Environments: A Review. *Advances in Botanical Research*, 83, 277-318.
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Li, L., Abd-Allah, E. F., & Lindström, K. (2017). Microbial cooperation in the rhizosphere improves liquorice growth under salt stress. *Bioengineered*, 8(4), 433-438.
<https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1250983>
- Escalante Campos, S., Rodríguez Dorantes, A., Vásquez, M. S., Rodríguez Tovar, A. V., Guerrero Zúñiga, L. A., Pérez, N. O., Franco Hernández, M. O., & Ponce Mendoza, A. (2012). Evaluación del efecto de cadmio sobre la germinación y elongación radical de semillas bacterizadas de *Axonopus affinis* y *Festuca rubra*. *Polibotánica*, 34, 205-221.

- Escáñez, M. (2021). *Estudio del papel del ácido abscísico en el cierre estomático mediado por butanoato de (Z)-3-hexenilo* [Universidad Politécnica de Valencia]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/171057/Escanez%20-%20Estudio%20del%20papel%20del%20ABA%20en%20el%20cierre%20estomatico%20mediado%20por%20HB.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Estay Ubilla, D. (2015). Caracterización de la actividad enzimática de Ascorbato Peroxidasa y cuantificación del contenido de Ascorbato en hojas de Aloe barbadensis Miller sometidas a estrés hídrico, térmico y combinado. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1773316?show=full>
- Falkowska, M., Pietryczuk, A., Piotrowska, A., Bajguz, A., Grygoruk, A., & Czerpak, R. (2011). The Effect of Gibberellic Acid (GA3) on Growth, Metal Biosorption and Metabolism of the Green Algae *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae) Beijerinck Exposed to Cadmium and Lead Stress. *Polish Journal of Environment*, 20(1), 53-59.
- FAO. (2024). Suelos Arenosos. FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/>
- Farooq, U., A. Kozinsky, J., Ain Khan, M., & Athar, M. (2010). Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. *Bioresource Technology*, 101(14), 5043-5053. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.030>

Fernández Ciscal, R. (2016). Respuestas Biológicas a contaminantes del entorno de Doñaña. Integración de Metodologías Ómicas que evalúan el estrés ambiental en animales de Ecosistemas Acuáticos. [Universidad de Córdoba].

<https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/10396/13879/1/2016000001490.pdf>

Fernández del baño, I. (2012). Factores que afectan a la movilidad del arsénico en los suelos. Propuesta de Protocolo de actuación para valorar la contaminación de suelos por arsénico. [Universidad de Sevilla].

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/87480/Fernandez%20del%20Ba%C3%B1o%2C%20Isabel%20Maria-TESES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernandez Ochoa, B. H., Mullisaca Contreras, E., & Huanchi Mamani, L. E.

(2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(2), 131-138.

<https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>

Flores Cáceres, M. L. (2013). *Caracterización de los mecanismos de respuesta antioxidante de Medicago sativa a metales pesados* [Universidad Autónoma de Madrid].

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/14216/66542_flores%20caceres%20maria%20laura.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fritsche, W., & Hofrichter, M. (2001). *Aerobic Degradation by Microorganisms*,
in *Biotechnology Set, Second Edition* (Vol. 6).

<https://doi.org/10.1002/9783527620999.ch6m>

G. Arias, F. (2012). La investigación científica. En *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6a ed., pp. 24-36). Episteme.

<https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>

Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de Mineralogía*, 10, 48-60.

García, A. L., & Sánchez Rojas, J. (2011). Determinación de proteínas en hojas de Citrus. I. Métodos e interferencias. *Anales de la Universidad de Murcia*, XLIII(1-4), 219-232.

García Diaz, S., Pérez Vera, O., & Aldrete, A. (2018). *Metodología y definición de indicadores de salud de planta en viveros forestales*.

<http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/ProyectosInvestigacion/P3/Producto%201.%20Metodolog%C3%A1Da%20y%20Definici%C3%B3n%20de%20indicadores%20de%20salud.pdf>

Garzón, J., Rodríguez, J., & Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista Univesidad y Salud*, 19(2), 309-318.

- Gilis, A., Khan, P., Meyer, J. M., Cornelis, P., Mergeay, M., & Van der Lelie, D. (1996). Siderophore-mediated iron uptake in *Alcaligenes eutrophus* CH34 and identification of *aleB* encoding the ferric iron-alcaligin E receptor. *Journal of Bacteriology*, 178(18), 5499-5507. <https://doi.org/10.1128/jb.178.18.5499-5507.1996>.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). *Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Glick, B. (2012). *Applications and Mechanisms :Bacteria Promoting-Growth P*. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Glickman, E., & Dessaux, Y. (1995). A critical examination of the specificity of the salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 61(2), 793-796. <https://doi.org/10.1128/aem.61.2.793-796.1995>
- Gobierno de Argentina. (2023). *Valores de referencia para el diagnóstico de análisis de suelos*. https://magyp.gob.ar/brechaproductiva/_pdf/valores-de-referencia-para-diagnostico-de-suelos.pdf
- Goicochea Trelles, P., & García Lopez, Y. (2023). Fitorremediación para recuperar suelos contaminados por metales pesados: Discusión de revisión sistemática. *Agroindustrial Science*, 12(3), 293-303.
- Gomes Oliveira, R. (2019). Errores en los hemogramas automatizados: Los interferentes y sus correcciones. En *Hemograma: Cómo hacer e interpretar* (2da ed., pp. 317-319). Amolca. [https://www.berri.es/pdf/HEMOGRAMA.%20C%C3%B3mo%20Hacer%20e%20Interpretar%20\(Libro%20+%20eBook\)/9789806574939](https://www.berri.es/pdf/HEMOGRAMA.%20C%C3%B3mo%20Hacer%20e%20Interpretar%20(Libro%20+%20eBook)/9789806574939)

Gómez, S., Gutiérrez, D., Hernández, A. M., Hernández, C., Losada, M., & Mantilla, P. (2008). Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos. *NO*, 6(9), 76-84.

Gómez-Arnai, J. (1988). *El cultivo del girasol*.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_20.pdf

González Mendoza, D., & Zapata Pérez, O. (2008). Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 82.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282008000100005#:~:text=Las%20metalotioneinas%20\(MTS\)%20son%20prote%C3%ADnas,as%C3%AD%20una%20intoxicaci%C3%B3n%20por%20metales.](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282008000100005#:~:text=Las%20metalotioneinas%20(MTS)%20son%20prote%C3%ADnas,as%C3%AD%20una%20intoxicaci%C3%B3n%20por%20metales.)

González Chávez, M. del C. Á. (2005). Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 29-37.

González Miranda, M. I. (2016). *Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero* [Universitat de Barcelona].

<https://core.ac.uk/download/pdf/95222909.pdf>

Gupta, V., Nayak, A., & Agarwal, S. (2015). Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future projects. *Environmental Engineering Research*, 1-18.

Gutierrez, W. (2023). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina*, 7(2).

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5834>

Guzmán Castro, V., Razo Zárate, R., Vásquez, G. M., & Hernández, M. (2022).

Factores que condicionan la empleabilidad de las plantas en fitorremediación. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(19), 42-49.

Guzmán Guerrero, A. (2021). *Fitorremediación de suelos contaminados con arsénico, cobre y plomo empleando Echeveria elegans y Crassula ovata* [Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Azcapotzalco].

<http://zaloamati.azc.uam.mx//handle/11191/8738>

Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., & Widmer, F. (2014). *Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming*.

<https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>

Hernández, J. (2011). *Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos* [Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Departamento de Edafología].

https://oa.upm.es/14869/1/JACQUELINE_HERNANDEZ_ARAUJO.pdf

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). El proceso de investigación y los enfoques cuantitativo y cualitativo: Hacia un modelo integral. En *Metodología de la Investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). McGraw-Hill Interamericana. <http://metodos-comunicacion.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf>
- Heumann, H. G. (1987). Effects of Heavy Metals on Growth and Ultrastructure of *Chara vulgaris*. *Protoplasma*, 136(1), 37-48.
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations* (Vol. 1). Academic Press.
- Hortenstine, C. C., & Fiskell, J. G. A. (1961). Effects of Aluminum on Sunflower Growth and Uptake of Boron and Calcium from Nutrient Solution. *Soil Science Society Proceedings*, 25(4), 304-307.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500040022x>
- Huaranga, F., Costilla, N., Méndez, E., Huaranga, F., Quilcat, V., & Bernui, F. (2022). Cuantificación de Cu,Pb,As y Cd absorbidos por el «girasol» *Helianthus annuus* L. (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros [Universidad Nacional de Trujillo].
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992022000100119

Kabata - Pendias, A. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (3.^a ed.).

<https://doi.org/10.1201/9781420039900>

Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A., & Oves, M. (2009). *Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils*. 7.

<https://doi.org/10.1007/s10311-008-0155-0>

Kogut, P. (2023). Degradación Del Suelo: Técnicas Para Evitar Sus Efectos. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>

Kumar, A., Tripti, Maleva, M., Benedict, B., & Rajkumar, M. (2021). Synergistic effect of ACC deaminase producing *Pseudomonas* sp. TR15a and siderophore producing *Bacillus aerophilus* TR15c for enhanced growth and copper accumulation in *Helianthus annuus* L. *Chemosphere*, 276.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130038>

Kumar, S., Prasad, S., Kumar, K., Shrivastava, M., Gupta, N., Nagar, S., Bach, Q., Kamyab, H., Khan, S., Yadav, S., & Chand, L. (2019). Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches—A review. *Environmental Research*, 179.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108792>

Kumar, V., Mathela, C. S., Tewari, A. K., & Bisht, K. S. (2014). *In vitro inhibition activity of essential oils from some Lamiaceae species against phytopathogenic fungi*. 114. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.07.001>

Laboratorios Microkit. (2020). *SIMMON'S CITRATE AGAR*.

<https://www.microkit.es/fichas/SIMMONS-CITRATE-AGAR.pdf>

- Lacal, J. (2008). *Caracterización Bioquímica y molecular del Sistema de dos componentes TODS/TODT DE Pseudomonas putida DOT-T1E* [Universidad de Granada].
<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1838/17367219.pdf?sequence=1>
- Ladera Sur. (2022). Biorremediación: Microorganismos que sanan el planeta. *Ciencia, Biodiversidad y Medio Ambiente*.
<https://laderasur.com/articulo/biorremediacion-microorganismos-que-sanar-el-planeta/>
- Lago Vila, M. (2018). *Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados* [Universidad de Vigo].
https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1123/Tesis%20Manoel%20Lago%20Vila_sin%20proteccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lakshman Kumar, B., & Sai Gopal, D. V. R. (2015). Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. 5, 867-876.
- Larenas Parada, G., & De Viana, M. (2005). Germinación y supervivencia del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ecología austral*, 15(2), 177-181.

Lazao Javalera, M. F. (2013). *CRIOCONSERVACIÓN Y SU EFECTO SOBRE EL GENOMA Y EL ESTRÉS OXIDATIVO EN VID (Vitis vinifera L.) CV. FLAME* [Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD)].

<https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/344/1/LAZO-JAVALERA-MF13.pdf>

Ledezma, A. (2016). *Estudio de la población microbiana en un sistema de biorremediación in situ de un suelo impactado con hidrocarburos de petróleo* [Universidad Autónoma de Nuevo León].

<http://eprints.uanl.mx/13661/1/1080238042.pdf>

Ley N°27446. Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental

(2001). chrome-

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27446.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27446.pdf)

Ley N°28245 (2004). chrome-

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/ley-SNGA-28245.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/ley-SNGA-28245.pdf)

Ley N°28611. Ley General del Ambiente (2005). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>

Ley N° 29196, 12 (2008).

https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/resolucionesministeriales/2011/ley_29196.pdf

- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Yan, X., & Han, W. (2019). A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Liu, A., Wang, W., Zheng, X., Chen, X., Fu, W., Wang, G., Ji, J., Ji, C., & Guan, C. (2022). Improvement of the Cd and Zn phytoremediation efficiency of rice (*Oryza sativa*) through the inoculation of a metal-resistant PGPR strain. *Chemosphere*, 302.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134900>
- Llerena Paco, K., Pinto Rosado, G., Ymata Cruz, A., Marroquín Mejía, W., Quispe López, E., & Campos Ihui, M. (2016). Métodos de remediación de suelos contaminados en la zona Parque Industrial Río Seco debido a la retención de metales pesados por agua residuales [Universidad Nacional de San Agustín.]. <https://es.scribd.com/document/508399739/TIF-2-SUELOS-DEL-PARQUE-INDUSTRIAL-RIO-SECO-pdf>
- Loh, K.-C., & Cao, B. (2008). Paradigm in biodegradation using *Pseudomonas putida*—A review of proteomics studies. *Enzyme and Microbial Technology*, 43(1), 1-12.
- Lokeshwari, H., & Chandrappa, G. T. (2006). Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. *Current Science*, 91(5), 622-627.

- López, L. (2016). *Curva de crecimiento bacteriano en la producción de proteínas recombinantes*.
http://coli.usal.es/web/demos/demo_alteracion/FactoresCrecimiento/FactoresCrecimiento.html
- López, R. (2002). *Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación: Vol. II*.
https://www.researchgate.net/publication/264311522_Degradacion_del_Suelo_causas_procesos_evaluacion_e_investigacion
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria*. 63, 541-566. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- M. Bierman, P., & J. Rosen, C. (2010). *Nutrient Cycles and Soil Fertility*. Pearson Education Inc.
[https://conservancy.umn.edu/server/api/core/bitstreams/bb5e9dc4-b624-4541-8484-3d5ad7f10bcb/content#:~:text=Soil%20fertility%20can%20be%20maintained,to%20extremely%20complex%20\(see%20Fig.](https://conservancy.umn.edu/server/api/core/bitstreams/bb5e9dc4-b624-4541-8484-3d5ad7f10bcb/content#:~:text=Soil%20fertility%20can%20be%20maintained,to%20extremely%20complex%20(see%20Fig.)
- Macheca-Pulido, J., Trujillo-González, J., & Torres Mora, M. (2015). Heavy metal content in agricultural soil from the Ariari region in the Meta department. *Orinoquia*, 19(1), 118-122.
- Maiti, R. K., Hernández, J. L., González Oreja, J. A., & D. (2004). Plant based bioremediation and mechanisms of heavy metal tolerance of plants: A review. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 1, 1-12.

- Mamani, L., & Mendoza, J. (2022). Reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) en Suelos Contaminados Mediante la Aplicación de Materiales Reductores: Revisión Sistemática [Universidad Cesar Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88135/Mamani_LM-Mendoza_JJ-SD.pdf
- Manzano Banda, J., Rivera Ortiz, P., Biones Encinia, F., & Zamora Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: Estudio de caso en el distrito de Riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Tierra Latinoamericana*, 32(3), 211-219.
- Maqueda Gálvez, A. P. (2003). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados* [Universidad de las Américas Puebla].
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/maqueda_g_ap/capitulo4.pdf
- Marín Arguello, I., & Roustán Espinoza, I. (2000). Purificación y determinación de actividad enzimática de la catalasa en *Staphylococcus aureus*.
Encuentro, 52, 54-66.
- Marques, A., Moreira, H., Franco, A., Rangel, A., & Castro, P. (2013). Inoculating *Helianthus annuus* (sunflower) grown in zinc and cadmium contaminated soils with plant growth promoting bacteria – Effects on phytoremediation strategies. *Chemosphere*, 92(1), 74-83.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.055>

Marrero Coto, J., Amores Sánchez, I., & Coto Perez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 46(3), 52-61.

Marrero Coto, J., Diaz Valdivia, A., & Coto Perez, O. (2010). Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41(1), 67-78.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3. https://home.czu.cz/storage/737/65060_Mineral-Nutrition-of-higher-plants-Marschner-2012.pdf

Martínez, M., Solís Guzmán, G., Jiménez Saragoz, J. C., López Hernández, D., Carreón Abud, Y., & Ríos Chávez, P. (2013). Respuestas morfogénicas de las raíces de *Arabidopsis thaliana* (Magnoliophyta: Brassicales) al estrés de Cr(VI). *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(2), 207-219. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2013000200009>

Mau, S., Vega, K., & Sánchez, M. (2011). Aislamiento de bacterias del suelo y su potencial utilización en sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 42(2), 45-52.

McGrath, S. P. (1982). The Uptake and Translocation of Tri- and Hexavalent Chromium and Effects on the Growth of Oat in Flowing Nutrient Solution and Soil. *New Phytologist*, 92(3), 381-390. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1982.tb03395.x>

Medina Arias, C. (2023). Evaluación de la exposición y ecotoxicidad en suelos contaminados por efluentes de curtiembres en la zona de Río Seco-Arequipa utilizando el bioensayo de ecotoxicidad con *Eisenia Foetida* [Universidad Católica de Santa María].

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ee1900fd-44ea-4b30-9d6d-32f3db369e06/content>

Medina Marcos, K. D., & Montano Chávez, Y. N. (2014). Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. Y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza- Áncash 2013 [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf

Medios de Diagnóstico Microbiológico. (2020). *SERIES DE IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA (UREA, CITRATO, LISINA, SIM Y TSI)*.

<https://mdmcientifica.com/wp-content/uploads/2021/03/IS-24-SERIES-DE-IDENTIFICACION-BIOQUIMICA.pdf>

Meers, E. (2005). Phytoextraction of heavy metals from contaminated dredged sediments. 341.

Mehra, A. (1994). Plants and chemical elements: Biochemistry, uptake, tolerance and toxicity.

Mejía Franco, R., Arzate Fernández, A., Jaramillo Frías, A., & Vásquez García, L.

M. (2016). Expresión diferencial de marcadores bioquímicos durante las fases de desarrollo vegetativo y reproductivo en lirio azteca (*Sprekelia formosissima* (L.) Herbert). 50(8), 989-999.

Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 149-155.

Mendarte, C., Alarcón, A., & Ferrera Cerrato, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24. <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/326>

MICROGEN. (2023). *Caldo Tioglicolato*. <https://www.microgenltda.com.co/microbiologia/caldos-preparados/caldo-tioglicolato/#:~:text=Descripci%C3%B3n,microbiol%C3%B3gico%20en%20entornos%20de%20laboratorio>.

Microsoft. (2010). *Tareas básicas de Excel* [Support Microsoft]. <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca#:~:text=Excel%20es%20una%20herramienta%20muy,la%20Ocuadr%C3%ADcula%20de%20las%20celdas>.

MINAM. (2014). *GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS*.

<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2017).

Determinación de pH en suelo y residuos. Método electrométrico. En *Manual de procedimientos analíticos para muestras ambientales* (3era., pp. 55-60). Analía Sanabria.

http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/pluginfile.php/304549/mod_resource/content/1/MANUAL%20PROCEDIMIENTOS%20LABORATORIO%202017.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Compost: El abono natural que reduce la

erosión del suelo y combate el cambio climático. *Ministerio del Medio Ambiente*. [https://mma.gob.cl/compost-el-abono-natural-que-reduce-la-erosion-del-suelo-y-combate-el-cambio-](https://mma.gob.cl/compost-el-abono-natural-que-reduce-la-erosion-del-suelo-y-combate-el-cambio-climatico/#:~:text=Y%20es%20que%2C%20gracias%20a,de%20carbono%20en%20el%20suelo.)

[climatico/#:~:text=Y%20es%20que%2C%20gracias%20a,de%20carbono%20en%20el%20suelo.](https://mma.gob.cl/compost-el-abono-natural-que-reduce-la-erosion-del-suelo-y-combate-el-cambio-climatico/#:~:text=Y%20es%20que%2C%20gracias%20a,de%20carbono%20en%20el%20suelo.)

Montano, Y., M. Tapia, P., Fow, A., & Fuentealba, B. (2022). *Fitorremediación.*

Una alternativa para tratar la contaminación ambiental. Instituto

Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

(INAIGEM) - Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña

(DIEM).

[https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-](https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-2a26-4af9-9590-c2bd172915f6/content#:~:text=EI%20factor%20de%20traslocaci%C3%B3n%20se,la%20ra%C3%ADz%20de%20la%20planta.)

[2a26-4af9-9590-](https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-2a26-4af9-9590-c2bd172915f6/content#:~:text=EI%20factor%20de%20traslocaci%C3%B3n%20se,la%20ra%C3%ADz%20de%20la%20planta.)

[c2bd172915f6/content#:~:text=EI%20factor%20de%20traslocaci%C3%B](https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-2a26-4af9-9590-c2bd172915f6/content#:~:text=EI%20factor%20de%20traslocaci%C3%B3n%20se,la%20ra%C3%ADz%20de%20la%20planta.)

[3n%20se,la%20ra%C3%ADz%20de%20la%20planta.](https://repositorio.inaigem.gob.pe/server/api/core/bitstreams/5758db79-2a26-4af9-9590-c2bd172915f6/content#:~:text=EI%20factor%20de%20traslocaci%C3%B3n%20se,la%20ra%C3%ADz%20de%20la%20planta.)

Montreemuk, J., Neal Stewart, T., & Prapagdee, B. (2024). Bacterial-assisted

phytoremediation of heavy metals: Concepts, current knowledge, and

future directions. *Environmental Technology & Innovation*, 33.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423004844>

Moreno, M., & López, A. (2018). *La contaminación del suelo por plomo y sus*

consecuencias sobre la salud humana. [Universidad Complutense].

[http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARTA%20MORENO%2](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARTA%20MORENO%20FERNANDEZ.pdf)

[0FERNANDEZ.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARTA%20MORENO%20FERNANDEZ.pdf)

- Muhammad, Q., Anwar, H., Mohib, S., Muhammad, H., Asma A., A., Amjad, I., & Sajid, A. (2024). Improving sunflower growth and arsenic bioremediation in polluted environments: Insights from ecotoxicology and sustainable mitigation approaches. *PubMed*, 10(12).
[https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)09109-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024091096%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)09109-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024091096%3Fshowall%3Dtrue)
- Municipalidad Distrital de Cerro Colorado. (2018). *Caracterización del distrito de Cerro Colorado*. <https://www.mdcc.gob.pe/wp-content/uploads/2018/09/I-CARACTERIZACION-DEL-DCC.pdf>
- Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., & Cabello Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Muñoz, L., Olivera, P., Santillán, M., & Tamariz, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26(1).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332019000100013

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo*

Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-

P/Rev.3). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>

Nguyen, T. Q., Verena, S., Kisiala, A., & Neil Emery, R. J. (2020).

Phytohormonal Roles in Plant Responses to Heavy Metal Stress:

Implications for Using Macrophytes in Phytoremediation of Aquatic

Ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(1), 7-22.

OEFA. (2017). *Informe de evaluación ambiental en el ámbito del Parque*

Industrial de Río Seco, provincia y departamento de Arequipa 2017

(evaluación ambiental 034-2017; pp. 21-30). OEFA.

[https://es.scribd.com/document/508826012/If-0034-2017-Oefa-de-Sdlb-](https://es.scribd.com/document/508826012/If-0034-2017-Oefa-de-Sdlb-Ceapio)

[Ceapio](https://es.scribd.com/document/508826012/If-0034-2017-Oefa-de-Sdlb-Ceapio)

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2018). *Fertilidad del suelo:*

Optimizar el rendimiento de los cultivos mediante técnicas nucleares.

<https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo>

Oshiquiri, L. H., Dos Santos, K. R. A., Ferreira, S. A., Steindorff, A. S., Barbosa

Filho, J., Mota, T. M., Ulhoa, C. J., & Georg, R. C. (2020). Trichoderma

harzianum transcriptome in response to cadmium exposure. *Fungal*

genetics and biology. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2019.103281>

Osorio Ravelo, M. del P. (2018). *Evaluación de biosurfactante extraído de Pseudomona aeruginosa* [Universidad de los Andes].

[https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e891bfd-c0c2-4dcf-bee9-](https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e891bfd-c0c2-4dcf-bee9-92bbc9a53a21/content#:~:text=Pseudomonas%20es%20conocida%20por%20su,la%20tensi%C3%B3n%20superficial%20del%20agua.)

[92bbc9a53a21/content#:~:text=Pseudomonas%20es%20conocida%20por%20su,la%20tensi%C3%B3n%20superficial%20del%20agua.](https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e891bfd-c0c2-4dcf-bee9-92bbc9a53a21/content#:~:text=Pseudomonas%20es%20conocida%20por%20su,la%20tensi%C3%B3n%20superficial%20del%20agua.)

Pacheco Paredes, J. A. (2023). Revisión crítica del uso de la biorremediación como alternativa actual para el tratamiento de problemas de

contaminación en suelos [Universidad Católica de Santa María]. chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7fe04fe8-aa7b-405a-9329-

[64c77110a1d1/content#:~:text=Su%20enfoque%20basado%20en%20microorganismos,o%20agua%20contaminados%20\(2\).](https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7fe04fe8-aa7b-405a-9329-64c77110a1d1/content#:~:text=Su%20enfoque%20basado%20en%20microorganismos,o%20agua%20contaminados%20(2).)

Paredes, K. (2017). *Fitoestabilización de metales pesados en sedimentos costeros asistida por bacterias rizosféricas* [Universidad de Sevilla].

<https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/93cc93d5-6429-4667-a616-52932fad85a4/content>

Paredes Páliz, K. I., Santillán Quiroga, L. M., & Viteri Uscátegui, M. R. (2021).

Capacidad degradadora de pseudomonas aeruginosa frente a metales

pesados presentes en muestras de sedimentos del río Chibunga. *Polo del*

Conocimiento, 6(5). <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2675>

- Pedrosa, I., Basterretxea, J. J., Fernández, A. R., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿Qué estadístico utilizar? *1, 14*, 245-254.
<https://doi.org/doi:10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>
- Pellizzari, E., Marinich, L., Flores, S., & Giménez, C. (2015). Degradación de arsénico por *Pseudomonas aeruginosa* para biorremediación de agua. Estudio preliminar. *Avances en Ciencia e Ingeniería, 6*, 1-5.
- Peralta Pérez, M. del R., & Volke Sepúlveda, T. L. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. *11(1)*, 75-88.
- Perea Vélez, Y. (2014). Enmiendas, Bacterias promotoras del crecimiento vegetal y *Ricinus communis* en la estabilización de elementos potencialmente tóxicos [INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS].
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2551/Perea_Velez_YS_MC_Edafologia_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez Leal, F. (2017). *Fisiología Vegetal*. <https://biblioteca.unu.edu.pe/wp-content/uploads/2016/06/LIBRO-P5.pdf>

- Pernía, B., de Sousa, A., Reyes, R., & Castrillo, M. (2008). Biomarcadores de contaminación por Cadmio en las plantas. *Interciencia*, 33(2).
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000200007#:~:text=La%20relaci%C3%B3n%20clorofila/carotenoide%20disminuye,estr%C3%A9s%20generado%20por%20metales%20pesados.
- Pineda Zapana, J. S. (2019). Evaluación del potencial de fitorremediación de *Isolepis cernua* y *Nasturtium aquaticum* para el tratamiento secundario de efluentes de curtiembre del Parque Industrial Rio Seco [Universidad Nacional de San Agustín]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e0e04c43-ccc5-4d92-9fd5-2ea481c9a877>
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2024). Estadística: Prueba de Tukey. *Tesis Latinoamérica*.
<https://es.slideshare.net/LuisFerAguas/estadstica-prueba-de-tukey>
- Portal Jurídico de Cataluña. (2009). *D.L. 01/2009 Ley reguladora de los residuos*.
<https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/dlg/2009/07/21/1>
- Prajitha, V., & Thoppil, J. E. (2018). Cytogenetic characterization of *Amaranthus caudatus* L. and *Amaranthus hybridus* subsp. *Cruentus* (L.) Thell. *Cytotechnology*, 70, 95-101.
<https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.1007/s10616-017-0100-9>

Prasad Vurukonda, S. S., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & Skz, A. (2016).

Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. 184, 13-24.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.

PROLACEN. (2023). *Cintas métricas de laboratorio*. PROLACEN. Productos de

Laboratorio y Ciencia. <https://www.prolacen.com/equipos-e-instrumental/cintas-metricas/>

Quijada, E. (2021). *Bioacumulación y transferencia de plomo desde el suelo a los pastos y leche en la estación experimental El Mantaro* [Universidad Nacional del Centro del Perú].

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6935/T010_70105698_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rajendran, P., Muthukrishnan, J., & Gunasekaran, P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian Journal of Experimental Biology, 41(9)*, 935-944.

Raklami, A., Meddich, A., Oufdou, K., & Baslam, M. (2022). Plants—

Microorganisms-Based Bioremediation for Heavy Metal Cleanup: Recent Developments, Phytoremediation Techniques, Regulation Mechanisms, and Molecular Responses. *International journal of molecular sciences, 23(9)*. <https://doi.org/10.3390/ijms23095031>

- Ramani, K., Dangar, K., & Changela, D. (2021). Exploring the Potential of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Phytoremediation. En *Phytoremediation for Environmental Sustainability* (pp. 467-484). Springer. https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2089/10.1007/978-981-16-5621-7_17
- Ramírez Díaz, M., Riveros Rosas, H., Campos Garcí, J., & Cervantes, C. (2009). Reducción bacteriana de Cromo hexavalente: Mecanismos y Aplicaciones. *REB*, 28(3), 73-79.
- Rascio, N., & Navari Izza, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169-181.
- Raza Altaf, A., Teng, H., Saleem, M., Raza Ahmad, H., Adil, M., & Shahzad, K. (2020). Associative interplay of *Pseudomonas gessardii* BLP141 and pressmud ameliorated growth, physiology, yield, and Pb-toxicity in sunflower. *Bioremediation Journal*, 25(2), 178-188.
<https://doi.org/10.1080/10889868.2020.1853028>
- Rico, A., & Del Castillo, H. (1992). *Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte.
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt7.pdf>

- Riopedre-Galán, T., Delgado, A., Cabrera, J., & Cartaya, O. (2019). Relación entre los metales pesados y los hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Cultivos Tropicales*, 42(4).
<https://www.redalyc.org/journal/1932/193270002014/html/>
- Rockne, K., Chee Sanford, J., Sanford, R., Hedlund, B., Staley, J., & Strand, S. (2000). Anaerobic Naphthalene Degradation by Microbial Pure Cultures under Nitrate-Reducing Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*.
<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/aem.66.4.1595-1601.2000>
- Rodríguez, J. C., Rodríguez, H., Lira, G., Martínez de la Cerda, J., & Lara, J. (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29, 239-245.
- Rodríguez-Sahagún, A., Velasco Jiménez, A., Castellanos Hernández, O., Acevedo Hernández, G., & Clarenc Aarland, R. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2). <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Roque, R. F., Prado, D., & Ruiz de Somocurcio, F. (2013). Biodepuración de aguas residuales industriales contaminadas con cromo (III) y cromo (VI) utilizando microflora nativa aislada y caracterizada provenientes del Parque Industrial Río Seco (PIRS) de la ciudad de Arequipa. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/530/OBINAM_MII_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/530/OBINAM_MII_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant*, 38(257).
<https://doi.org/10.1007/s11738-016-2277-5>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*.
<https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sachdev, S., Akhta Ansari, S., Isail Ansari, M., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic Stress and Reactive Oxygen Species: Generation, Signaling, and Defense Mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 277.
- Saleem, M. H., Afzal, J., Rizwan, M., Shah, Z.-U.-H., Depar, N., & Usman, K. (2022). *Chromium toxicity in plants: Consequences on growth, chromosomal behavior and mineral nutrient status*. 46(3).
<https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol46/iss3/10/>
- Saleem, M., Naeem Asghar, H., Ahmad Zahir, Z., & Shahid, uhammad. (2018). Impact of lead tolerant plant growth promoting rhizobacteria on growth, physiology, antioxidant activities, yield and lead content in sunflower in lead contaminated soil. *Chemosphere*, 195, 606-614.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.117>
- Sales Ordoñez, G., Aguirre Escalante, C., Cerna Cueva, A., Ortega Silva, D., Pérez Hernández, E., Aguilar Carazas, & Reategui Inga, M. (2024). Análisis de microorganismos funcionales y su relación con parámetros fisicoquímicos del suelo en un bosque reservado. *Manglar*, 21(1), 19-28.

- Sánchez, R., & Guerra, P. (2022). Pseudomonas spp. Benéficas en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(4).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- Sandhya, V., Sk, Z. A., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting Pseudomonas spp. On compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *62*, 21-30. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4>
- Santos Ubaldo, D., Delgado, R., Romero Rodríguez, A., & Castro Sierra, A. (2023). Fitorremediación de metales pesados en ambientes contaminados: Una revisión. *Frontera Biotecnológica*, 26(4), 18-24.
- Sarmiento-Sarmiento, G., & Febres Flores, S. (2021). Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(3), 199-212.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>
- SEMARNAT. (2002). *Degradación del suelo* [Informe de la situación del medio ambiente en México]. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.2_Degradacion/index.htm#:~:text=La%20degradaci%C3%B3n%20de%20los%20suelos,para%20preservar%20la%20salud%20humana.
- SEMARNAT & SSA. (2004). *NOM-147- SEMARNAT/SSA-2004*.
<https://es.slideshare.net/slideshow/nom-147semarnatssa12004/40045351>
- Sergieieva, K. (2021). Erosión hídrica en la agricultura: Causas y prevención. *EOS DATA ANALYTICS*. <https://eos.com/es/blog/erosion-hidrica/>

- Sharma, P., & Shanker Dubey, R. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>
- Siegrist, J. (2007). Pseudomonas Media and Tests. *MERCK*.
http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/proskauer.pdf
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., & Gupta, R. (2011). *Heavy metals and living systems An overview*. 43(3), 246-253. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505>
- Skladany, G. J., & Meeting Jr, F. B. (1993). Bioremediation of contaminated soil. En *Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management* (pp. 483-513).
- Solis Mendoza, F., Sahagún, J., Villanueva-Verduzco, C., Colinas León, M. T., & García Mateos, M. (2012). Distribución de biomasa y acumulación de plomo en calabacita (*Cucurbita pepo* L.) cultivada en suelo contaminado. *Revist Chapingo*, 18(2), 197-205.
- Soporte Minitab. (2024). *¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples?* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>

Soto López, I., Meléndez Balbuena, L., & Jiménez Hernández, A. (2015). El tema de la catalasa en los diferentes niveles de enseñanza aprendizaje. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 2.

<https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/download/265/311/>

Soto, M. (2015). Análisis de indicadores de la calidad del suelo para la evaluación de la efectividad de la estrategia de restauración realizada en el corredor Barbas—Bremen—Filandia—Quindio [Universidad ICESI].

https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78072/1/soto_analisis_indicadores_2014.pdf

Souahi. (2021). Impact of lead on the amount of chlorophyll and carotenoids in the leaves of *Triticum durum* and *T. aestivum*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa*. *Biosystems Diversity*, 29(3), 207-210.

<https://doi.org/10.15421/012125>

Sposito, G. (2008). *The Chemistry of soils* (II). Oxford University Press.

<https://books.google.com.pe/books?id=XCJnDAAAQBAJ&lpg=PR9&ots=iIn3i2FZ->

[E&dq=Sposito%2C%20G.%20\(2008\).%20The%20Chemistry%20of%20Soils.%20Oxford%20University%20Press&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Sposito,%20G.%20\(2008\).%20The%20Chemistry%20of%20Soils.%20Oxford%20University%20Press&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=XCJnDAAAQBAJ&lpg=PR9&ots=iIn3i2FZ-E&dq=Sposito%2C%20G.%20(2008).%20The%20Chemistry%20of%20Soils.%20Oxford%20University%20Press&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Sposito,%20G.%20(2008).%20The%20Chemistry%20of%20Soils.%20Oxford%20University%20Press&f=false)

Sri, Y., & Al-Najar, H. (2024). Función de los hongos micorrícicos y las bacterias solubilizadoras de fosfatos en la absorción de elementos esenciales y metálicos en las plantas en suelos contaminado con metales pesados.

Chapingo, 30(2).

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2024000200027&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sukhjadeorao Dongre, R. (2021). Chromium & Lead as Soil Pollutants: Insights on Toxicity Profiles and their Remediation. *Journal of Advanced Biotechnology and Bioengineering*, 9, 1-16.

Tanaka, R., & Tanaka, A. (2007). *Tetrapyrrole Biosynthesis in Higher Plants*.

58(1), 321-346. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105448>

Thermo Fisher Scientific. (2023). *Balanzas analíticas*. Fisher Scientific.

<https://www.fishersci.es/es/es/scientific-products/featured-categories/analytical-balances.html>

Trujillo, C. (2007). *Impacto ambiental en el geosistema de las canteras de sillar Añashuayco—Arequipa*.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/download/10646/11117/>

Universidad Abierta y a Distancia de México. (2022). Organismos implicados en procesos de biorremediación. En *Biorremediación*.

https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE2/BI/07/BBRN/unidad_02/descargables/BBRN_U2_Contenido.pdf

Universidad de Granada. (2023). *Contaminación de metales pesados.*

Edafología.net.

<http://www.edafologia.net/conta/tema15/fact.htm#:~:text=La%20mayor%C3%ADa%20de%20los%20metales,produce%20la%20precipitaci%C3%B3n%20como%20hidr%C3%B3xidos.>

Universidad de las Palmas de Gran Canaria. (2024). *Pruebas bioquímicas de identificación de bacterias.*

https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/35/35729/pruebas_bioquimicas_de_identificacion_de_bacterias.pdf

Universidad Nacional de La Plata. (2022). *CRA: Otra forma de determinar el estado hídrico de la planta.*

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/104041/mod_resource/content/1/TP%20CRA.pdf

Universidad Politécnica de Valencia (Director). (2018). *Salinidad del suelo: Conductividad 1/5* [Video recording].

<https://www.youtube.com/watch?v=1uG9DvWVtMI>

Universidad Pública de Navarra. (2005). *Flora Pratense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica.* Herbario de la Universidad Pública de Navarra.

https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Heli_annu_p.htm

USDA. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (Vol. 12).

<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Vargas, P., Cuéllar, R., & Dussán, J. (2004). Biorremediación de Residuos de petróleo. *Hipótesis - Apuntes Científicos Uniandinos*, 42-49.

Vilca, F., & Gordillo, Y. (2016). *Retención de metales pesados en suelos y su impacto ambiental. Caso: Aguas residuales—Parque Industrial Rio Seco* [Universidad Nacional De San Agustín].

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1f92124a-3a20-4764-aaa4-8bd7bee40af7/content>

Villamarín, C., Loachamin, M., Sosa, M., Donoso, M., Granda Albuja, G.,

Castillejo, P., & Ríos Touma, B. (2024). *Nectopsyche* sp (Trichoptera: Leptoceridae) sublethal effects caused by different concentrations of arsenic (As): A biochemical markers approach. *Ecotoxicology*, 33, 1062-1073.

Volke Sepúlveda, T., Velasco Trejo, A., & De la Rosa, A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación* (1a ed). Instituto Nacional de Ecología.

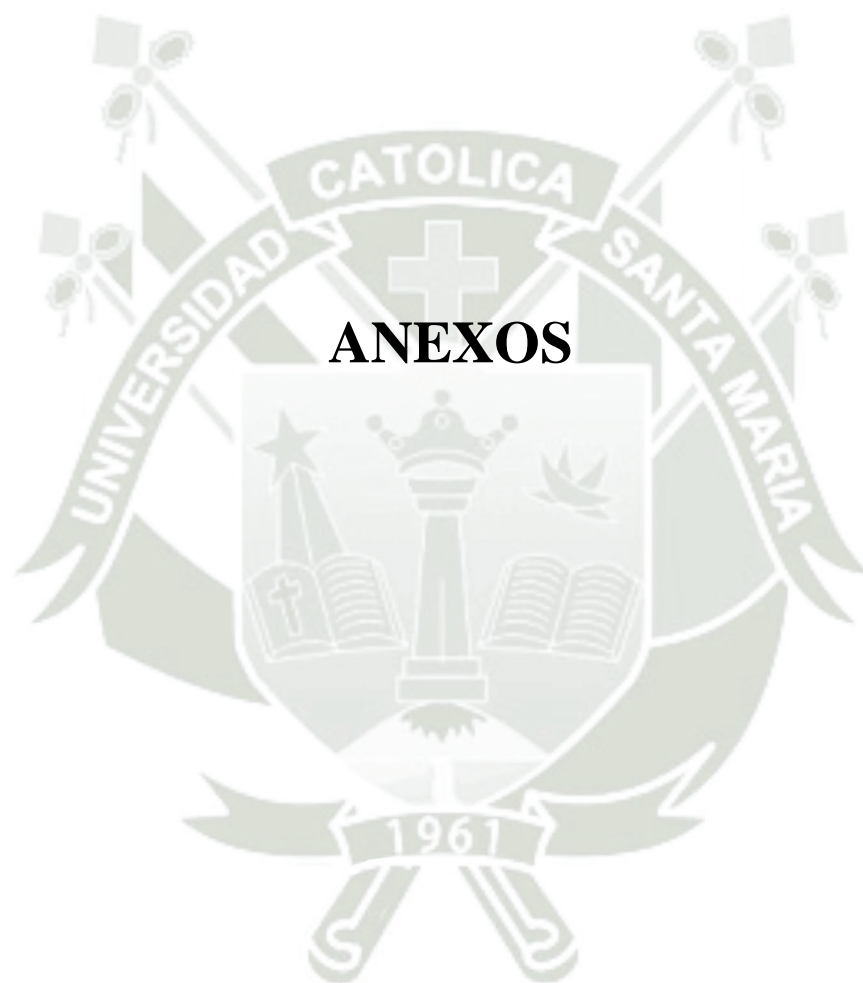
<https://www.researchgate.net/publication/308419159>

Waseem, M., Aya Khilji, S., Tariq, S., Jamal, A., Owdah Alomrani, S., & Javed, T. (2024). Phytoremediation of heavy metals from industrially contaminated soil using sunflower (*Helianthus annus* L.) by inoculation of two indigenous bacteria. *Plant Stress*, 11.

<https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100297>

- Weather Spark. (2024). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Socabaya*. <https://es.weatherspark.com/y/25836/Clima-promedio-en-Socabaya-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wu, G., Kang, H., Zhang, X., Hongbo, S., Chu, L., & Chengjiang, C. (2010). A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metal from contaminated soil: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. 174(1-3), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.113>
- Xiaoyun, N., Zhou, J., Wang, X., Su, X., Du, S., Zhu, Y., Yang, J., & Huang, D. (2020). Indigenous Bacteria Have High Potential for Promoting *Salix integra* Thunb. Remediation of Lead-Contaminated Soil by Adjusting Soil Properties. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00924>
- Yin, K., Lv, M., Wang, Q., Wu, Y., Liao, C., Zhang, W., & Chen, L. (2016). Simultaneous bioremediation and biodetection of mercury ion through surface display of carboxylesterase E2 from *Pseudomonas aeruginosa* PA1. 103, 383-390.
- Yu, L., Dutta, S., Welsh, Z., Liu, Z., Freundt, E., Baehrecke, E. H., & Lenardo, M. (2006). Autophagic programmed cell death by selective catalase degradation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 103(13), 4952-4957. <https://doi.org/10.1073/pnas.0511288103>

- Zevallos, J. (2014). Determinación de parámetros fisicoquímicos en efluentes industriales de curtiembres de la asociación de pequeñas y medianas empresas de curtiembres, fabricas de cola y derivados del cuero (apymeco)—Parque Industrial de Rio Seco (PIRS) [Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/454>
- Zhang, W., Wang, C., Lu, T., & Zhenj, Y. (2018). Cooperation between arbuscular mycorrhizal fungi and earthworms promotes the physiological adaptation of maize under a high salt stress. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3481-9>
- Zhao, X., Xie, H., Zhao, X., Zhang, J., Li, Z., Yin, W., Zhou, H., Manan, S., Nazar, M., Iqbal, B., Li, G., & Du, D. (2022). Combined Inhibitory Effect of Canada Goldenrod Invasion and Soil Microplastics on Rice Growth. *Environment Impacts of Biological Invasion and Climate Change*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191911947>
- Zheng, W., Wu, Q., Rao, C., Chen, X., Wang, E., Liang, X., & Yan, W. (2023). Characteristics and interactions of soil bacteria, phytocommunity and soil properties in rocky desertification ecosystems of Southwest China. *Catena*, 220. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816222007172>



ANEXO 1. Registros de observación y crecimiento vegetal

Tabla 22

Ficha de observación y seguimiento de especies - Registro 20 días

Ficha de observación y seguimiento de especies																															
Título del proyecto		Evaluación de la eficacia de fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y Helianthus annuus L. para la restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Rio Seco.																													
Encargado		Angela Michell Alarcón Pérez - Patricia Milagros Rodríguez Cornejo																													
Lugar		Socabaya - Arequipa																													
Muestreo		Tallo												Hojas																	
Tratamiento	Repetición	altura (cm)			inflorescencia			diámetro (cm)			Total de planta			# sanas			# muertas			# enfermas			Total de hojas			ancho (cm)			largo (cm)		
		C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B
0%	1A	-	-	1.5	-	-	-	-	-	0.2	-	-	2	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	2	-	-	1	-	-	1
0%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	1A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10%	1A	1	-	-	-	-	-	0.3	-	-	2	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	1	-	-	1.5	-	-
10%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0%	2A	-	0.5	4	-	-	-	0.2	0.2	-	1	5	-	1	1	-	0	0	-	0	0	-	4	2	-	0.5	0.5	-	1	1	
0%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	2A	-	1	1	-	-	-	0.2	0.2	-	2	2	-	1	1	-	0	0	-	0	0	-	4	4	-	1	0.5	-	1.5	1	
5%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10%	2A	5	-	-	-	-	-	0.3	-	-	5	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	0.5	-	-	1.5	-	-
10%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0%	3A	5	5	3	-	-	-	0.3	0.3	0.2	5	5	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	4	4	1	1	1	1.5	2	1
0%	3B	4	-	-	-	-	-	0.3	-	-	4	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	4	-	-	1	-	-	2	-	-	
0%	3C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5%	3A	-	3	3	-	-	-	0.2	0.2	-	4	4	-	1	1	-	0	0	-	0	0	-	4	3	-	1	1	-	2	1	
5%	3B	-	-	2	-	-	-	-	0.2	-	-	3	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	4	-	-	1	-	-	1	-	
5%	3C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10%	3A	3	4	3	-	-	-	0.3	0.3	0.2	4	5	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5	5	4	0.5	1	1	1.5	2	1
10%	3B	2	-	-	-	-	-	0.2	-	-	3	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	5	-	-	1	-	-	1	-	-	
10%	3C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 23

Ficha de observación y seguimiento de especies - Registro 40 días

Ficha de observación y seguimiento de especies																																		
Título del proyecto		Evaluación de la eficacia de fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus</i> L. para la restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Rio Seco.																																
Encargado		Angela Michell Alarcón Pérez - Patricia Milagros Rodríguez Cornejo																																
Lugar		Socabaya - Arequipa																																
Muestreo		Tallo												Hojas																				
Tratamiento	Repetición	altura (cm)			inflorescencia			diámetro (cm)			Total de planta			# sanas			# muertas			# enfermas			Total de hojas			ancho (cm)			largo (cm)					
		C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B			
0%	1A	5	7	3	-	-	-	0.5	0.3	0.2	5	7	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	8	2	1	1	2	1	1
0%	1B	-	1	2	-	-	-	-	0.2	0.2	-	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	2	4	-	0.4	1	-	0.3	1
0%	1C	-	-	4	-	-	-	-	-	0.3	-	-	4	1	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	8	-	-	1.5	-	-	1.5
5%	1A	3	-	-	-	-	-	0.2	-	-	2	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	3	-	-	0.2	-	-	0.5	-	-
5%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	1A	10	-	3	-	-	-	0.5	-	0.2	12	-	4	1	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	0	8	-	4	2	-	1	3	-	1.5
10%	1B	7	-	5	-	-	-	0.3	-	0.2	9	-	5	1	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	0	7	-	7	2	-	1	3	-	2
10%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2A	4	7	4	-	-	-	0.2	0.2	0.2	5	8	5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	2	3	2	3	5	4
0%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2A	4	4	-	-	-	-	0.2	0.2	-	5	5	-	1	1	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	5	6	-	1	2	-	2	3	-
5%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	2A	5	7	3	-	-	-	0.3	0.5	0.2	7	9	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	4	2	3	1	5	6	2
10%	2B	-	3	-	-	-	-	-	0.2	-	-	4	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-
10%	2C	-	2	-	-	-	-	-	0.2	-	-	3	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	4	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-
0%	3A	15	16	6	-	-	-	0.5	0.5	0.2	23	25	7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	7	4	3.5	3	1	5	4	2
0%	3B	10	4	5	-	-	-	0.5	0.3	0.2	18	5	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	3	4	1	1	6	2	2
0%	3C	6	-	5	-	-	-	0.3	-	0.2	7	-	6	1	-	1	0	-	0	0	-	0	0	0	0	7	-	4	2	-	1	3	-	2
5%	3A	-	6	10	-	-	-	-	0.5	0.5	-	8	12	-	1	1	-	0	0	-	0	0	-	5	6	-	3	2	-	4	3	-	-	-
5%	3B	-	-	6	-	-	-	-	-	0.3	-	-	7	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	2	-	-	3	-	-	-
5%	3C	-	-	4	-	-	-	-	-	0.2	-	-	5	-	-	1	-	-	0	-	-	0	-	-	4	-	-	2	-	-	3	-	-	-
10%	3A	10	12	8	-	-	-	0.5	0.5	0.2	15	22	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	4	2	4	1	3	5	2
10%	3B	8	5	7	-	-	-	0.5	0.2	0.2	12	7	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	4	3	1	1	6	3	2
10%	3C	6	-	4	-	-	-	0.5	-	0.2	7	-	7	1	-	1	0	-	0	0	-	0	0	-	0	7	-	4	4	-	1	5	-	2

Tabla 24

Ficha de observación y seguimiento de especies - Registro 60 días

Ficha de observación y seguimiento de especies																															
Título del proyecto		Evaluación de la eficacia de fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus</i> L. para la restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Río Seco.																													
Encargado		Angela Michell Alarcón Pérez - Patricia Milagros Rodríguez Cornejo																													
Lugar		Socabaya - Arequipa																													
Muestreo		Tallo												Hojas																	
Tratamiento	Repetición	altura (cm)			inflorescencia			diámetro (cm)			Total de planta			# sanas			# muertas			# enfermas			Total de hojas			ancho (cm)			largo (cm)		
		C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B
0%	1A	37	30	25	-	-	-	0.5	0.5	0.5	37	30	25	9	9	9	0	0	0	1	0	0	10	9	9	4	4	4	7	5	8
0%	1B	-	30	20	-	-	-	-	0.5	0.5	-	30	20	8	8	8	0	0	0	0	0	0	8	8	8	-	3	3	-	4	5
0%	1C	-	-	24	-	-	-	-	-	0.5	-	-	24	7	-	7	0	0	0	0	0	0	7	-	7	-	-	4	-	-	5
5%	1A	35	28	20	-	-	-	0.5	-	-	35	28	20	9	7	7	0	-	-	1	-	1	10	-	7	1	3	3	7	6	7
5%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	1A	37	25	37	-	-	-	0.5	-	0.5	37	25	37	12	10	14	1	-	0	1	-	0	14	-	15	5	4	3	7	5	5
10%	1B	28	-	39	-	-	-	0.5	-	0.5	28	-	39	9	-	10	0	-	0	0	-	0	9	-	12	5	-	3	6	-	4
10%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2A	37	18	32	-	-	-	0.5	0.5	0.5	37	18	32	8	9	6	1	0	0	1	1	0	10	10	6	4	3	5	8	5	8
0%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2A	35	16	15	-	-	-	0.5	0.5	-	35	16	15	8	6	9	0	0	-	1	0	-	9	6	9	4	4	3	5	7	6
5%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	2A	37	30	37	-	-	-	0.5	0.5	0.5	37	30	37	10	9	11	2	0	0	2	0	0	14	9	11	4	4	4	7	6	7
10%	2B	-	25	-	-	-	-	-	0.5	-	-	25	-	-	7	-	-	0	-	-	0	-	7	-	-	3	-	-	4	-	
10%	2C	-	27	-	-	-	-	-	0.5	-	-	27	-	-	8	-	-	0	-	-	0	-	8	-	-	3	-	-	5	-	
0%	3A	35	24	28	-	-	-	0.5	0.5	0.5	35	24	28	10	11	10	1	0	1	2	0	0	13	11	12	5	3	2	8	4	8
0%	3B	30	20	24	-	-	-	0.5	0.5	0.5	30	20	24	9	8	9	0	0	0	0	0	0	9	8	9	3	2	3	5	3	5
0%	3C	28	-	20	-	-	-	0.5	-	0.5	28	-	20	10	-	10	0	-	0	0	-	0	10	-	10	4	-	3	5	-	7
5%	3A	-	15	16	-	-	-	-	0.5	0.5	-	15	16	-	9	5	-	0	0	1	0	0	-	9	5	5	4	2	6	5	5
5%	3B	34	-	14	-	-	-	-	-	0.5	34	-	14	9	-	5	-	-	0	-	0	-	-	5	-	-	2	-	-	-	6
5%	3C	-	-	14	-	-	-	-	-	0.5	-	-	14	-	-	5	-	-	0	-	0	-	-	5	-	-	2	-	-	-	5
10%	3A	30	25	37	-	-	-	0.5	0.5	0.8	30	25	37	10	11	10	2	1	1	2	1	0	14	13	12	5	5	3	8	8	7
10%	3B	27	20	35	-	-	-	0.5	0.5	0.5	27	20	35	10	9	9	0	0	0	0	0	0	10	9	9	5	3	2	7	4	5
10%	3C	25	-	31	-	-	-	0.5	-	0.5	25	-	31	9	-	10	0	-	0	0	-	0	9	-	10	5	-	3	8	-	6

Tabla 25

Ficha de observación y seguimiento de especies - Registro 70 días

Ficha de observación y seguimiento de especies																															
Título del proyecto		Evaluación de la eficacia de fitorremediación asistida por bacterias autóctonas y <i>Helianthus annuus</i> L. para la restauración de suelos contaminados por metales pesados en el Parque Industrial Río Seco.																													
Encargado		Angela Michell Alarcón Pérez - Patricia Milagros Rodríguez Cornejo																													
Lugar		Socabaya - Arequipa																													
Muestreo		Tallo												Hojas																	
Tratamiento	Repetición	altura (cm)			inflorescencia			diámetro (cm)			Total de planta			# sanas			# muertas			# enfermas			Total de hojas			ancho (cm)			largo (cm)		
		C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B
0%	1A	43	38	30.5	-	-	-	0.8	0.5	0.5	43	38	30.5	10	10	9	1	1	0	1	0	0	12	11	9	5.5	4	4.5	9	5	8
0%	1B	-	35	28	-	-	-	-	0.5	0.5	-	35	28	9	8	8	0	0	0	0	0	0	9	8	8	-	3	3	-	4	6
0%	1C	-	-	27	-	-	-	-	-	0.5	-	-	27	8	-	7	0	0	0	0	0	0	8	-	7	-	4	-	-	6	
5%	1A	39.5	31	25.3	-	-	-	0.5	-	-	39.5	31	25.3	12	8	7	1	-	-	1	-	1	14	-	7	5	4.1	4.1	9	8.5	8
5%	1B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	1A	46	32	42	-	-	-	0.8	-	0.5	46	32	42	12	10	15	1	-	0	1	-	0	14	-	15	6.2	4.2	3.9	11.2	5	5.8
10%	1B	37	-	46.38	-	-	-	0.5	-	0.8	37	-	46.38	10	-	12	0	-	0	0	-	0	10	-	12	5	-	3	9	-	4
10%	1C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2A	40.25	21.69	35.26	-	-	-	0.5	0.5	0.5	40.25	21.69	35.26	8	9	6	1	0	0	1	1	0	10	10	6	4.5	3	6	11	5	9.5
0%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2A	40	16.98	18.6	-	-	-	0.5	0.5	-	40	16.98	18.6	8	6	9	0	0	-	1	0	-	9	6	9	4.1	5	3.9	6.2	9.2	9.5
5%	2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5%	2C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10%	2A	44	38.5	40.66	-	-	-	0.5	0.5	0.5	44	38.5	40.66	14	9	11	2	0	0	2	0	0	18	9	11	5.4	4.5	4	13.2	6.5	8
10%	2B	-	32	-	-	-	-	0.5	-	-	-	32	-	-	7	-	0	-	0	-	0	-	7	-	-	3	-	-	4	-	-
10%	2C	-	30	-	-	-	-	0.5	-	-	-	30	-	-	8	-	0	-	0	-	0	-	8	-	-	3	-	-	5	-	-
0%	3A	41	29.67	32.15	-	-	-	0.8	0.5	0.5	41	29.67	32.15	12	11	12	1	1	1	2	0	0	15	12	12	6	3	2.8	11	4.5	8
0%	3B	38	25	30	-	-	-	0.5	0.5	0.5	38	25	30	9	8	9	0	0	0	0	0	0	9	8	9	4	2.8	3	8	3	6
0%	3C	35	-	29	-	-	-	0.5	-	0.5	35	-	29	10	-	10	0	-	0	0	-	0	10	-	10	5	-	3	6	-	7
5%	3A	-	19.7	20.3	-	-	-	-	0.5	0.5	-	19.7	20.3	-	9	5	-	0	0	1	0	0	-	9	5	5.6	4.2	2	8.5	8	8
5%	3B	42	-	19	-	-	-	-	-	0.5	42	-	19	9	-	5	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	2	-	-	6
5%	3C	-	-	18	-	-	-	-	-	0.5	-	-	18	-	-	5	-	-	0	-	-	0	-	-	5	-	-	2	-	-	5
10%	3A	38.6	30.7	45.88	-	-	-	0.5	0.5	0.8	38.6	30.7	45.88	12	11	12	2	1	1	2	1	0	16	13	12	7.3	6.5	3.8	12	6.8	8.3
10%	3B	35	28	40	-	-	-	0.5	0.5	0.5	35	28	40	10	9	9	0	0	0	0	0	0	10	9	9	5	4	2	9	4	5
10%	3C	32	-	42	-	-	-	0.5	-	0.5	32	-	42	9	-	10	0	-	0	0	-	0	9	-	10	6	-	3	10	-	6

ANEXO 2. Valores de referencia internacionales de concentraciones de metales

Tabla 26

Valores de referencia de concentración de metales en suelo en Perú, México, Canadá, Madrid y Cataluña comparado a los niveles encontrados en el Parque Industrial Río Seco.

Metales	Perú	México	Canadá	Madrid	Cataluña	P.I.R.S.
	(mg/kg)					
Aluminio Total						3,179.8
Antimonio Total			40	80	30	2.4
Arsénico Total	140	260	12	40	30	12.5
Bario Total	2000	67000	2000		1000	260.0
Berilio Total		1900	8		90	0.2
Bismuto Total						2.3
Boro Total						815.8
Cadmio Total	22	450	22	300	55	1.7

	Perú	México	Canadá	Madrid	Cataluña	P.I.R.S.
Metales	(mg/kg)					
Calcio Total						65,176.5
Circonio Total						4.7
Cobalto Total			300	1500	90	3.9
Cobre Total			91	8000		257.6
Cromo Total	1000		87		1000	5,853.5
Escandio Total						1.2
Estaño Total			300		1000	7.4
Estroncio Total						362.4
Fósforo Total						2,867.0
Hierro Total						11,022.0
Lantano Total						6.1
Litio Total						8.8

	Perú	México	Canadá	Madrid	Cataluña	P.I.R.S.
Metales	(mg/kg)					
Magnesio Total						2,965.7
Manganeso Total				33900		309.2
Mercurio Total	24	310	50	15	30	0.4
Molibdeno Total			40	1500	70	15.9
Níquel Total		20000	89	15600	1000	15.6
Plata Total		5100	40	500		0.9
Plomo Total	800	800	600	2700	550	207.1
Potasio Total						1,133.1
Selenio Total		5100	3	3900	70	3.6
Sodio Total						7,743.9
Talio Total		67	1	30	45	0.1
Thorio Total						1.2

Metales	Perú	México	Canadá	Madrid	Cataluña	P.I.R.S.
	(mg/kg)					
Titanio Total						338.1
Uranio Total			300			0.7
Vanadio Total		1000	130	3700	1000	28.4
Wolframio Total						0.5
Ytrio Total						1.9
Zinc Total			410	100000	1000	325.2

Nota. Adaptado de D.S. N° 011-2017-MINAM, 2017; SEMARNAT & SSA, 2004; CCME, 1999, 2007; Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2006; Portal Jurídico de Cataluña, 2009.

ANEXO 3. Análisis iniciales de metales en Parque Industrial Río Seco



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1**

RODRIGUEZ CORNEJO PATRICIA MILAGROS

ENV / LB-355445-003

PROCEDENCIA : LAGUNAS DE OXIDACION - PARQUE INDUSTRIAL RIO SECO

Fecha de Recepción SGS : 09-09-2024
 Fecha de Ejecución : Del 09-09-2024 al 18-09-2024
 Muestreo Realizado Por : CLIENTE
 Observación : MA2429175-1 Se actualiza nombres de estación.

"Este informe cancela y reemplaza al Informe No. MA2429175-0 con fecha 24-9-24 emitida por SGS del Perú"

Estación de Muestreo
P.D: Inicio de Quebrada Estanquillo
P.B: Bordes circundantes II Laguna de oxidación
P.C: Fisura de canal principal
P.A. Canal alimentador de I Laguna de oxidación

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 18/09/2024

Carmen R. Guerrero Cantorin
 C.Q.P.1198
 Coordinador de Calidad

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 1 de 7



SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
 Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
 Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P.D: Inicio de Quebrada Estanquillo	P.B: Bordes circundantes II Laguna de oxidación	P.C: Fisura de canal principal
PROFUNDIDAD (m)					8189028.614N / 221480.492E	8189064.802N / 221455.326E	8189028.269N / 221480.824E
FECHA DE MUESTREO					0.1	0.1	0.1
HORA DE MUESTREO					08/09/2024	08/09/2024	08/09/2024
MATRIZ					10:33:00	19:44:00	10:05:00
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	3,206.307	2,471.505	2,608.921
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	3.209	0.918	0.637
Arsénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	10.734	10.981	5.496
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	268.896	95.698	233.990
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	<0.173	0.241	<0.173
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	1.669	0.291	1.931
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	27.633	3,158.990	35.225
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	2.276	0.782	1.137
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	50,916.986	119,635.186	40,851.307
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	6.307	2.748	2.734
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	6.499	1.521	2.592
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	360.102	88.031	149.188
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	2,735.939	12,051.291	3,130.272
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.561	0.981	0.868
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	10.806	<0.940	6.310
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	267.988	666.484	246.713
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	2,760.880	3,948.313	2,248.939
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	14,542.830	4,256.245	7,698.030
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	5.326	4.346	5.696
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	5.8	17.6	4.9
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	2,270.901	4,589.696	2,292.217
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	292.776	342.580	253.883
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	0.526	<0.262	<0.262
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	18.570	5.283	4.004
Niquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	16.999	7.486	7.386
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	0.583	0.455	0.349
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	311.591	34.657	199.034
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	889.329	1,863.101	700.544
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605	<3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	3,990.498	19,700.825	1,958.738
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	<0.093	<0.093	<0.093

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 7

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 505 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P.D: Inicio de Quebrada Estanquillo 8189028.614N / 221480.492E	P.B: Bordes circundantes II Laguna de oxidación 8189064.802N / 221455.326E	P.C: Fisura de canal principal 8189028.269N / 221480.824E
PROFUNDIDAD (m)					0.1	0.1	0.1
FECHA DE MUESTREO					08/09/2024	08/09/2024	08/09/2024
HORA DE MUESTREO					10:33:00	19:44:00	10:05:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Thorio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	1.916	0.789	0.613
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	489.532	193.081	260.563
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.564	<0.102	1.349
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	29.101	22.636	23.106
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	<0.231	<0.231	<0.231
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	2.221	<0.096	2.144
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	515.954	201.196	183.513

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P.A. Canal alimentador de I Laguna de oxidación 8189181.527N / 221881.592E
PROFUNDIDAD (m)					0.1
FECHA DE MUESTREO					08/09/2024
HORA DE MUESTREO					09:16:00
MATRIZ					SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	4,432.476
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	4.732
Arsénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	22.880
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	441.576
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.236
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	5.259
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	41.359
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	2.494
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	49,302.480
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	6.861
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	4.883

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 3 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P.A. Canal alimentador de l Laguna de oxidación 8°18'181.527'N / 72°18'1.592'E
PROFUNDIDAD (m)					0.1
FECHA DE MUESTREO					08/09/2024
HORA DE MUESTREO					09:16:00
MATRIZ					SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales Totales					
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	433.061
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	5,496.572
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.250
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	11.666
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	268.426
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	2,509.892
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	17,590.965
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	8.926
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	7.0
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	2,709.882
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	347.623
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	0.638
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	35.569
Niquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	30.578
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	2.303
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	283.272
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	1,079.410
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	5,325.655
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	<0.093
Thorio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	1.358
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	409.092
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.598
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	38.632
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	1.181
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	3.043
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	400.313

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | t (511) 517 1900 | www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | t (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Total	mg/kg	8.602	<8.602	2 - 6%	93%	93%	8%
Antimonio Total	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 9%	105%	88%	0%
Arsénico Total	mg/kg	2.857	<2.857	1 - 6%	96%	98%	0%
Bario Total	mg/kg	0.440	<0.440	0 - 7%	96%	88%	0%
Berilio Total	mg/kg	0.173	<0.173	0 - 6%	109%	98%	0%
Bismuto Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 7%	97%	98%	0%
Boro Total	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 3%	100%	88%	0%
Cadmio Total	mg/kg	0.144	<0.144	3 - 7%	110%	90%	0%
Calcio Total	mg/kg	208.223	<208.223	2 - 8%	105%	109%	1%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	7 - 11%	91%	95%	0%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	6 - 11%	104%	103%	0%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	1 - 5%	95%	89%	7%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	1 - 6%	98%	98%	5%
Escandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	1 - 8%	109%	109%	0%
Estaño Total	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 2%	96%	97%	0%
Estroncio Total	mg/kg	0.822	<0.822	0 - 8%	102%	107%	0%
Fosforo Total	mg/kg	15.157	<15.157	1 - 2%	99%	105%	0%
Hierro Total	mg/kg	29.302	<29.302	0 - 7%	96%	94%	7%
Lantano Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 7%	100%	102%	6%
Litio Total	mg/kg	3.0	<3.0	0 - 8%	101%	105%	6%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	0 - 6%	103%	98%	6%
Manganeso Total	mg/kg	0.643	<0.643	0 - 6%	93%	98%	0%
Mercurio Total	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 11%	102%	106%	0%
Molibdeno Total	mg/kg	0.182	<0.182	1 - 4%	106%	98%	6%
Níquel Total	mg/kg	0.498	<0.498	4 - 9%	100%	94%	3%
Plata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 3%	97%	105%	0%
Plomo Total	mg/kg	0.346	<0.346	0 - 5%	91%	95%	5%
Potasio Total	mg/kg	42.993	<42.993	0 - 3%	103%	102%	3%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0%	91%	100%	0%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	4 - 9%	95%	88%	8%
Talio Total	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 8%	107%	108%	0%
Thorio Total	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 4%	94%	100%	0%
Titanio Total	mg/kg	0.251	<0.251	2 - 9%	98%	88%	2%
Uranio Total	mg/kg	0.102	<0.102	1 - 7%	101%	99%	8%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 8%	102%	95%	8%
Wolframio Total	mg/kg	0.231	<0.231	0%	93%	96%	0%
Ytiro Total	mg/kg	0.096	<0.096	2 - 7%	102%	106%	5%
Zinc Total	mg/kg	1.934	<1.934	1 - 7%	99%	100%	2%

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | t (511) 517 1900 | www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | t (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales Totales	EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 6 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2429175-1

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.
Los resultados del Informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 7 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | t (511) 517 1900 | www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 | Parque Industrial | Arequipa | t (054) 213 506 | e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez | Ba. San Antonio | Cajamarca | t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

ANEXO 4. Análisis finales de concentración de metales por Tratamiento



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25365-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO SUELO

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCION: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA SUELO MIXTO.

CÓDIGO DE MUESTRA 31837 - 31838.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

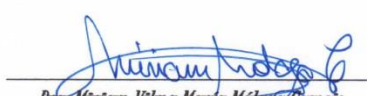
REPORTE N°: 25365-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	A 5%	49,88	Método Absorción Atómica.
		A 10%	10,19	
Plomo	mg/Kg	A 5%	7,55	
		A 10%	8,49	

OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.


Dra. Miriam Vilma María Málaga Cornejo
Coordinadora(a) del Laboratorio
RCQP - 259




Lic. Quím. Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25366-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO SUELO

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA SUELO MIXTO.

CÓDIGO DE MUESTRA 31840 - 31841.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25366-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	B 5%	148,94	Método Absorción Atómica.
		B 10%	39,88	
Plomo	mg/Kg	B 5%	6,02	
		B 10%	3,70	


OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.


Dra. Miryam Vilma María Mataga Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259




Lito. Químico Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25367-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO SUELO

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA SUELO MIXTO.

CÓDIGO DE MUESTRA 31836 - 31839.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25367-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	C5%	5,10	Método Absorción Atómica.
		C10%	11,19	
Plomo	mg/Kg	C5%	7,15	
		C10%	6,47	

OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.

Dra. Miriam Vilma María Mélaya Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259



Lic. Químico Freddy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25368-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO GIRASOL

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCIÓN: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA PLANTA

CÓDIGO DE MUESTRA 31842 - 31843 - 31844.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25368-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	A 0%	0,71	Método Absorción Atómica.
		A 5%	0,59	
		A 10%	1,70	
Plomo	mg/Kg	A 0%	1,30	
		A 5%	1,44	
		A 10%	0,90	

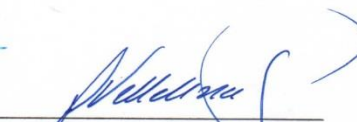
OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.


Dra. Miryam Vilma María Málaga Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259




Lic. Quím. Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25369-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO GIRASOL

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCION: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA PLANTÁ.

CÓDIGO DE MUESTRA 31845 - 31846 - 31847.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25369-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	B 0%	0,97	Método Absorción Atómica.
		B 5%	0,84	
		B 10%	1,75	
Plomo	mg/Kg	B 0%	1,30	
		B 5%	1,14	
		B 10%	2,14	

OBSERVACIONES:

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.

Dra. Miryam Vilma Márta Múgica Cornejo
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259



Lic. Quím. Fredy Agustín Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE: 25370-24

CLIENTE: PATRICIA MILAGROS RODRÍGUEZ CORNEJO
ANGELA MICHELL ALARCÓN PÉREZ

DIRECCIÓN: AREQUIPA

ENSAYO SOLICITADO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

PRODUCTO GIRASOL

CANTIDAD DE MUESTRA 03

FECHA DE RECEPCION: Martes, 22 de octubre de 2024

**CARACTERÍSTICAS Y
CONDICIONES:** BOLSA ZIPLOC

**FECHA DE ENTREGA DE
RESULTADOS:** Jueves, 31 de octubre de 2024

REFERENCIA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

PROCEDENCIA .PLANTA

CÓDIGO DE MUESTRA 31848 - 31849 - 31850.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2



UNSA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 25370-24

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo	mg/Kg	C 0%	0,39	Método Absorción Atómica.
		C 5%	1,38	
		C 10%	1,11	
Plomo	mg/Kg	C 0%	1,11	
		C 5%	1,50	
		C 10%	1,41	
OBSERVACIONES:				

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 31 de octubre de 2024.

Dra. *Miriam Vilma Marín Malaga Cornejo*
Coordinadora(e) del Laboratorio
RCQP - 259



Lito. Químico *Fredy Agustín Valdivia Peña*
Químico Responsable
RCQP - 842

Av. Independencia s/n Arequipa - Pabellón de Química - Laboratorio 108 - Primer Piso
Teléfono (054) 220360 / E-mail: fcnf_labinserv@unsa.edu.pe