

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES.**



**“FITORREMEDIACIÓN CON *Zea mays* PARA LA
REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DEL SUELO
CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA
PLANTA CONCENTRADORA UNI”**

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

AUTORES:

BACH. DIAZ VERGARAY, YULEISI PAOLA

BACH. QUISPE UÑAPILLCO, JACQUELIN ROCIO

BACH. SAMAMÉ MORALES, ELDER ANSELMO

ASESOR:

ING. NANCY ELIZABETH CÁCERES MAYORGA

Callao, 2022

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 2

ACTA N° 008-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

LIBRO N° 011. FOLIO N° 124 ACTA 008-2022-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

Al 23 día del mes de agosto del año 2022, siendo las 16:00 horas, se reunió en la sala Meet: Mg. Teófilo Allende Ccahuana, Lic. Sergio Leyva Haro y Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la resolución N° 097-2021-D-FIARN, para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Mg. Teófilo Allende Ccahuana	Presidente
Lic. Sergio Leyva Haro	Secretario
Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa	Vocal
Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga	Asesora

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Elder Anselmo Samamé Morales, Jacquelin Rocio Quispe Uñapillco y Yuleisi Paola Diaz Vergaray, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: "FITORREMEDIACIÓN CON *Zea mays* PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DEL SUELO CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA UNI", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N° 039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISEIS (16)**, la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021- CU del 30 de junio del 2021.

Se dio por cerrada la sesión a las 17:28 horas del día martes 23 de agosto del año en curso.

Mg. Teófilo Allende Ccahuana
Presidente

Lic. Sergio Leyva Haro
Secretario

Mtro. Américo Carlos Milla Figueroa
Vocal

Ing. Nancy Elizabeth Cáceres Mayorga
Asesora

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios, a nuestros Padres que fueron el principal motor para continuar día a día con este proyecto.

A nuestra Universidad Nacional del Callao, en la que pasamos cinco años de estudio, de esfuerzo académico, por verla crecer y aportar un grano de arena con nuestra investigación.

A nuestros profesores por la paciencia, dedicación y sus enseñanzas brindadas en cada materia.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis ha sido una suma de mucho esfuerzo y dedicación diaria, del cual nos sentimos orgullosos de haber cumplido con este reto tan importante para nuestra carrera. En tal sentido, y en honor al cumplimiento de nuestra meta tan anhelada agradecemos:

En primer lugar, a Dios por la fortaleza y por sostenernos día a día.

A nuestros padres por su constante y sincero apoyo y por darnos la fuerza para seguir adelante.

A nuestra asesora, la profesora Nancy Cáceres Mayorga, por su humildad, enseñanza y su apoyo constante.

Al profesor Ricardo Baca Rueda por su orientación técnica y motivación para la culminación de nuestro proyecto.

A nuestro jurado de tesis por sus conocimientos y sugerencias técnicas brindadas en la revisión de nuestro proyecto.

A la Universidad Nacional del Callao, nuestra alma mater, sobre todo a los profesores de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales quienes nos instruyeron y brindaron las herramientas necesarias para nuestra investigación y desenvolvimiento en el ámbito profesional.

ÍNDICE

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
	1.1. Descripción de la realidad problemática	2
	1.2. Formulación del problema	7
	1.2.1. Problema general	7
	1.2.2. Problemas específicos	7
	1.3. Objetivos.....	7
	1.3.1. Objetivo general	7
	1.3.2. Objetivos específicos	7
	1.4. Limitantes de la investigación	8
	1.4.1. Teórico	8
	1.4.2. Temporal	8
	1.4.3. Espacial.....	8
II.	MARCO TEÓRICO.....	9
	2.1. Antecedentes del estudio	9
	2.2. Bases teóricas	14
	2.2.1.1. Mecanismos de fitorremediación	15
	2.2.1.2. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación.....	18
	2.3. Conceptual	25
	2.3.1. Fitorremediación con <i>Zea mays para la remoción de plomo y cadmio</i>	25
	2.3.2. Suelos contaminados por relave minero	26
	2.3.3. Planta Concentradora UNI	26
	2.4. Definición de términos básicos	28

III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	30
3.1.	Hipótesis general e hipótesis específicas	30
3.1.1.	Hipótesis general.....	30
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	31
3.2.	Definición conceptual de las variables.....	31
3.2.1.	Operacionalización de las variables	32
3.2.1.1.	Definición operacional	32
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	34
4.1.	Tipo y diseño de investigación.....	34
4.2.	Método de investigación	35
4.3.	Población y muestra	67
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	67
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información..	68
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	73
V.	RESULTADOS	74
5.1.	Resultados descriptivos.....	74
5.1.1.	Tasa de germinación.....	74
5.1.2.	Longitud de tallo	77
5.1.3.	Longitud de hoja.....	80
5.1.4.	Cantidad de hojas	84
5.1.5.	Color de hojas	87
5.1.6.	Variación de pH.....	93
5.1.7.	Remoción del plomo.....	97
5.1.8.	Remoción del cadmio.....	103

5.2. Resultados inferenciales	109
5.2.1. Resultados de la remoción del plomo y el cadmio	109
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	118
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	
118	
6.1.1. Contrastación y demostración de la hipótesis	
específica 1: Resultados de la remoción del plomo	118
6.1.2. Contrastación y demostración de la hipótesis	
específica 2: Resultados de la remoción del Cadmio	119
6.1.3. Contrastación de los resultados con los indicadores	
121	
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares ..	133
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	136
CONCLUSIONES	137
RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Mecanismos de fitorremediación</i>	16
Tabla 2	<i>Ficha técnica del Zea mays L.</i>	21
Tabla 3	<i>Definición conceptual</i>	32
Tabla 4	<i>Matriz de operacionalización de las variables</i>	33
Tabla 5	<i>Diseño de la investigación</i>	35
Tabla 6	<i>Coordenadas geográficas del área de potencial interés</i>	39
Tabla 7	<i>Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos</i>	42
Tabla 8	<i>Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación</i>	43
Tabla 9	<i>Puntos de muestreo</i>	44
Tabla 10	<i>Resultados del análisis de corrida de metales del suelo potencialmente contaminado por relave minero</i>	49
Tabla 11	<i>Preparación de concentraciones</i>	52
Tabla 12	<i>Resultado del plomo y cadmio del suelo sin contaminar</i>	52
Tabla 13	<i>Resultado de concentración del plomo inicial</i>	55
Tabla 14	<i>Resultado de concentración del cadmio inicial</i>	56
Tabla 15	<i>Unidades experimentales</i>	58
Tabla 16	<i>Criterio de evaluación de pH</i>	65
Tabla 17	<i>Técnicas e instrumentos para la recolección de la información</i>	72
Tabla 18	<i>Tasa de germinación por cada repetición</i>	76
Tabla 19	<i>Media de tasa de germinación por cada repetición</i>	77
Tabla 20	<i>Longitud de tallo por cada repetición</i>	78
Tabla 21	<i>Media de longitud de tallo por cada repetición</i>	79
Tabla 22	<i>Longitud de hoja por cada repetición</i>	81
Tabla 23	<i>Media de longitud de hoja por cada repetición</i>	82
Tabla 24	<i>Cantidad de hojas por cada repetición</i>	84
Tabla 25	<i>Media de Cantidad de hojas por cada concentración</i>	85
Tabla 26	<i>Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C1: 10%</i>	87
Tabla 27	<i>Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C2: 20%</i>	89
Tabla 28	<i>Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C3: 30%</i>	91
Tabla 29	<i>Variación de pH por cada repetición</i>	93
Tabla 30	<i>Media de variación de pH por cada concentración</i>	95
Tabla 31	<i>Resultado de las concentraciones inicial y final de plomo</i>	97
Tabla 32	<i>Promedio de las concentraciones inicial y final de plomo</i>	99
Tabla 33	<i>Estadísticos descriptivos de la remoción del plomo</i>	101
Tabla 34	<i>Resultado de las concentraciones inicial y final de cadmio</i>	103

Tabla 35	<i>Remoción promedio del cadmio de las cuatro repeticiones</i>	105
Tabla 36	<i>Estadísticos descriptivos de la remoción del cadmio</i>	107
Tabla 37	<i>Prueba de normalidad – remoción del plomo</i>	111
Tabla 38	<i>Prueba t-Student para muestras relacionadas de la remoción del plomo para C2 y C3</i>	112
Tabla 39	<i>Estadísticos de contraste para la remoción del plomo de C1</i>	113
Tabla 40	<i>Criterio para decidir la Hipótesis</i>	114
Tabla 41	<i>Pruebas de normalidad – remoción de cadmio</i>	115
Tabla 42	<i>Prueba T-Student para muestras relacionadas de la remoción de cadmio para C2 y C3</i>	116
Tabla 43	<i>Estadísticos de contraste</i>	117
Tabla 44	<i>Criterio para decidir la Hipótesis</i>	118
Tabla 45	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)</i>	122
Tabla 46	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)</i>	123
Tabla 47	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)</i>	125
Tabla 48	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)</i>	126
Tabla 49	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)</i>	129
Tabla 50	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)</i>	130
Tabla 51	<i>Variación promedio del pH por cada concentración</i>	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mecanismos de fitorremediación</i>	17
Figura 2	<i>Diagrama de bloques de la metodología de la investigación</i>	36
Figura 3	<i>Suelo potencialmente contaminado por relave minero</i>	38
Figura 4	<i>Mapa de ubicación del área de potencial interés</i>	40
Figura 5	<i>Muestreo aleatorio simple</i>	44
Figura 6	<i>Puntos de muestreo</i>	45
Figura 7	<i>Recolección de muestra del área de potencial interés</i>	46
Figura 8	<i>Técnica del cuarteo</i>	47
Figura 9	<i>Diagrama de bloques para la recolección de muestra</i>	47
Figura 10	<i>Mezcla del suelo sin contaminar y suelo contaminado</i>	53
Figura 11	<i>Unidades experimentales</i>	57
Figura 12	<i>Diagrama de bloques para la preparación de suelo contaminado</i>	58
Figura 13	<i>Selección de semillas de Zea mays</i>	59
Figura 14	<i>Diagrama de bloques para la siembra del maíz</i>	61
Figura 15	<i>Tabla de comparación del color de hojas</i>	63
Figura 16	<i>Diagrama de evaluación de parámetros en el maíz</i>	64
Figura 17	<i>Diagrama del proceso de la medición del pH del suelo</i>	66
Figura 18	<i>Resultados promedio de longitud de tallo por cada concentración</i>	80

Figura 19	<i>Resultados promedio de longitud por hoja por cada concentración</i>	83
Figura 20	<i>Resultados promedio de cantidad de hojas por cada concentración</i>	86
Figura 21	<i>Resultados de variación promedio de pH por cada concentración</i>	96
Figura 22	<i>Remoción del plomo por cada concentración</i>	98
Figura 23	<i>Remoción promedio del plomo de las cuatro repeticiones</i>	100
Figura 24	<i>Diagrama de caja con bigotes de la remoción</i>	102
Figura 25	<i>Concentraciones inicial y final de cadmio</i>	104
Figura 26	<i>Remoción de concentración del cadmio – Inicial y final</i>	106
Figura 27	<i>Diagrama de caja con bigotes de la remoción del cadmio</i>	108
Figura 28	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)</i>	122
Figura 29	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)</i>	124
Figura 30	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)</i>	125
Figura 31	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)</i>	127
Figura 32	<i>Remoción de plomo (mg/kg) vs cantidad de hoja (cm)</i>	129
Figura 33	<i>Remoción de cadmio (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)</i>	130

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo evaluar la remoción de Plomo y Cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI mediante fitorremediación con *Zea mays*.

Se utilizó la siguiente metodología: El tipo de investigación según su finalidad es aplicada con enfoque cuantitativo y un diseño experimental – longitudinal que consistió en analizar los cambios a través del tiempo de las concentraciones de plomo y cadmio en dos momentos distintos (antes y después del tratamiento con *Zea mays*), aplicado a suelos contaminados al 10% (C1), al 20% (C2) y al 30% (C3), con 4 repeticiones cada una, utilizando para ello macetas experimentales de 8 kg de capacidad, obteniendo un total de 12 unidades experimentales. La técnica de medición utilizada para determinar las concentraciones de plomo y cadmio fue la Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS). La población fue el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora – UNI, con un área de 1718 m² y con una muestra de 200 kg.

La conclusión principal fue que hubo una remoción de plomo, para C1 fue de 288.23 mg/kg, para C2 fue de 245,89 mg/kg y para C3 fue de 427.97 mg/kg; asimismo, hubo una remoción de cadmio, para C1 fue de 0.67 mg/kg, para C2 fue de 1.35 mg/kg y para C3 fue de 0.34 mg/kg. La prueba de hipótesis demuestra con un nivel de significancia de 0.05 que la remoción de plomo y cadmio para C1, C2 y C3 son significativos excepto para el C3 del cadmio.

Palabras clave: Fitorremediación, Remoción, *Zea mays*, relave, plomo, cadmio, Planta Concentradora UNI.

ABSTRACT

The objective of this research study was to assess the removal of Lead and Cadmium from the soil contaminated by the mining tailings of the UNI Concentrator Plant by phytoremediation with *Zea mays*. The following methodology was used: The type of research according to its purpose is applied with a quantitative approach and an experimental – longitudinal design that consisted of analyzing the changes over time of the concentrations of lead and cadmium at two different times (before and after treatment with *Zea mays*), applied to contaminated soils at 10% (C1), 20% (C2) and 30% (C3), with 4 repetitions each, using experimental pots of 8 kg capacity, obtaining a total of 12 experimental units. The measurement technique used to determine lead and cadmium concentrations was Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The population was the soil contaminated by mining tailings of the Concentrator Plant – UNI, with an area of 1718 m² and with a sample of 200 kg.

The main conclusion was that hubo a removal of lead, for C1 was 288.23 mg / kg, for C2 was 245.89 mg / kg and for C3 was 427.97 mg / kg; also, hubo a removal of cadmium, for C1 was 0.67 mg / kg, for C2 it was 1.35 mg / kg and for C3 was 0.34 mg / kg. The hypothesis test demonstrates with a significance level of 0.05 that lead and cadmium removal for C1, C2 and C3 are significant except for cadmium C2.

Keywords: Phytoremediation, Removal, *Zea Mays*, tailings, lead, cadmium, UNI Concentrator Plant.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos (relaves) generados por la actividad minera, tienen la potencialidad de ocasionar un impacto negativo en el suelo, si es que a estos no se les da un tratamiento adecuado, debido a que los residuos “se acumulan a perpetuidad sobre la superficie de la Tierra” (Rodríguez, Oldecop, Linares, & Salvadó, 2009), generando un inminente riesgo para el medio ambiente y salud de las personas. Al año 2020, en el Perú, se tiene registrado 7956 PAM, distribuidos en diferentes ámbitos geográficos del país, de los cuales 921 están registrados con un nivel de riesgo de Alto y muy alto; por tanto, es necesario aplicar tecnologías que ayuden a remediar el suelo contaminado, una de estas tecnologías es la fitorremediación, que tiene como objetivo remover los metales pesados presentes en el suelo mediante el uso de especies vegetales, una de estas especies es el *Zea mays*, la cual ha sido utilizada en cómo se señala en el trabajo de investigación “La planta nativa del maíz “*Zea mays L*” resulto eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por Plomo y Cadmio en la minería”. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo brindar una solución a la problemática de los suelos contaminados por metales pesados, utilizando la técnica de fitorremediación mediante el *Zea mays* y empleándola en la remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado proveniente de la planta concentradora UNI, que se encuentra en estado de inoperatividad, ubicada dentro de su ciudad universitaria.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Las distintas tecnologías de información como los medios de comunicación y las redes sociales, nos han mostrado en los últimos años que no hay lugar en el mundo ajeno de contaminación, ocasionado por actividades humanas como la agroindustria, la minería, la metalurgia, la industria petrolera, entre otros; cuyos residuos afectan de manera considerable nuestro medio ambiente, en especial el suelo, que es uno de los mayores receptores de estos residuos.

Dentro de estas actividades la minero metalurgia ocupa un rol de mucha preocupación debido a que los residuos generados “se acumulan a perpetuidad sobre la superficie de la Tierra” (Rodríguez, Oldecop, Linares, & Salvadó, 2009), ocasionando un gran impacto en el suelo, ya que estos por su alto contenido de metales pesados ocasionan la pérdida de este recurso. Como lo menciona también el Área de Servicios de Investigación del Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria (DIDP) en su informe 2010: “Los residuos provenientes de la actividad minera son, por su composición y densidad, materiales peligrosos capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, afectar la salud pública, degradar cuerpos de agua y modificar paisajes naturales”. (Área de Servicios de Investigación del Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria [DIDP], 2010).

Si bien el suelo es un medio estático, la problemática de los relaves no lo es, ya que a través de este, la contaminación se transmite a otros recursos como las aguas subterráneas, cadenas tróficas y otros, si es que no se le da un adecuada disposición o tratamiento a dichos relaves como se señala en el informe del (Banco Mundial, 2005): “La inadecuada disposición de relaves y desmontes, así como los métodos inapropiados para la disposición de efluentes peligrosos y materiales contaminantes de las operaciones mineras, ya han causado casos graves de filtraciones, drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.”

Pero la contaminación del suelo por relaves no es solo por actividad minera en funcionamiento, sino con mayor preocupación por aquellas que están inactivas o abandonadas que son los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), cuyos relaves con alto contenido de metales pesados siguen contaminando nuestro suelo. Al año 2020, en el Perú, se tiene registrado 7956 PAM, distribuidos en diferentes ámbitos geográficos del país, de los cuales 921 están registrados con un nivel de riesgo de Alto y muy alto, Según el informe sobre Pasivos ambientales en el Perú producida por la Contraloría de la República del Perú, aprobada por Resolución Ministerial N° 238-2020-MINEM/DM, publicado en agosto del 2021.

Mientras que la situación en países de la región como Bolivia, muestran en su inventario del 2005 al 2011, 973 PAMs, de los cuales un 7% fueron

clasificados con alta prioridad de remediación. Mientras que en Chile el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) el encargado de inventariar las faenas mineras abandonadas del país, las cuales se clasifican como PAMs si presentan uno o más riesgos significativos. En este contexto, se inventariaron 492 faenas abandonadas y/o paralizadas entre los años 2003 y 2014 de acuerdo “Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras”.

Frente a esto, se presentan tecnologías de recuperación de suelos como los tratamientos térmicos, que son tecnologías tradicionales, a gran escala pero tienen un alto costo económico y es considerado “el grupo de tratamientos más costosos” (Volke Sepulveda & Velasco Trejo, 2002), o los tratamientos fisicoquímicos normalmente rápidos, pero presentan limitaciones en cuanto costos y potenciales problemas de movilidad de contaminantes, ya que “los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse: aumento en costos y necesidad de permisos”, “Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación” (Volke Sepulveda & Velasco Trejo, 2002).

Ante estas limitaciones como “el aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una

alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos” (Reichenauer & Germida, 2008). Además, la fitorremediación, que si bien, es un proceso lento, es un tratamiento natural, limpio y acorde con el paisaje del lugar, ya que, a través de plantas, tienen la potencialidad de remediar suelos contaminados.

Dentro de las plantas utilizadas en la fitorremediación, tenemos a *Yaluzai* (*Senecio rudbeckiaefolius*) la cual ha sido empleada en la relavera de *Quiulacocha* del distrito de Simón Bolívar de Rancas de la región Pasco, y cuyo trabajo se menciona que “dicha planta está en la capacidad para ser utilizado para la fitorremediación de espacio con contenido metálico” (Papuico Huayta, 2018, pág. 81) u otras plantas como la *Alopecurus magellanicus bracteatus* (Phil.) Mariano (Poaceae) “pasto plumizo” es una hierba perenne nativa de la puna de Sudamérica y la planta *Muhlenbergia angustata* (J. Presl.) Kunth (Poaceae) pertenece a un género que es componente de la vegetación primaria perenne sudamericana y forma parte de los pastizales-pajonales andinos, las cuales han sido utilizadas en la fitorremediación según el artículo científico: “Coeficientes Biológicos De Fitorremediación De Suelos Expuestos a Plomo Y Cadmio Utilizando *Alopecurus Magellanicus Bracteatus* Y *Muhlenbergia Angustata* (Poaceae), Puno, Perú”. (Argota Pérez, Encinas Cáceres, Argota Coello, & Iannacone, 2014).

Las plantas mencionadas, son especies altoandinas, las cuales soportan condiciones climáticas propias del lugar donde se realiza la fitorremediación, se tiene también el *Zea mays* como especie fitorremediadora, que se puede sembrar en nuestra costa en diferentes épocas del año, como se menciona “El maíz amarillo se siembra casi todo el año en el Perú, especialmente en la costa peruana” según lo indica el portal (Ministerio de Desarrollo Agrario y riego, 2021), y ha sido empleada en trabajos de fitorremediación como : “Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados” (Munive Cerrón, Loli Figueroa, Azabache Leyton, & Gamarra Sánchez, 2018).

En Lima, en la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, se ubica la planta piloto Concentradora-UNI en estado de inoperatividad, que concentraba minerales provenientes de actividad minera y cuya problemática son los relaves oxidados que aún se encuentran dentro de la ciudad universitaria, por ende, necesitan de tratamiento, debido a su peligrosidad por el contenido de metales pesados, en especial el plomo y cadmio que se encuentran entre los elementos tóxicos para nuestro medio ambiente y salud de las personas. La zona donde se extrajo el suelo contaminado tiene un área de 1718 m², área en el cual se desarrollan trabajos de investigación por la misma Universidad y otros.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿La fitorremediación con *Zea mays* removerá el plomo y cadmio en el suelo contaminado por el relave minero proveniente de la Planta Concentradora UNI?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida se removerá plomo del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con *Zea mays*?
- ¿En qué medida se removerá cadmio del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI mediante fitorremediación con *Zea mays*?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la remoción de Plomo y Cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI mediante fitorremediación con *Zea mays*.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la remoción de Plomo en el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con *Zea mays*.

- Determinar la remoción de Cadmio en el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con *Zea mays*.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Teórico

La limitación teórica es la escasa referencia bibliográfica respecto a la fitorremediación con *Zea mays* para la remoción de plomo y cadmio de suelos contaminados por un relave minero.

1.4.2. Temporal

El limitante temporal de la tesis, fue el periodo de la experimentación, el cual inició en diciembre del 2020 hasta marzo del 2021 (14 semanas), dándose inicio la parte experimental en la época de verano, debido que el *Zea mays* presenta un mejor desarrollo en esta temporada, lo que finalmente permitió demostrar la hipótesis que la fitorremediación con *Zea mays* remueve plomo y cadmio de un suelo contaminado por relave minero.

1.4.3. Espacial

La investigación se elaboró en macetas con un volumen reducido acorde a la geometría de la misma, es decir se vio limitado el crecimiento de la raíz y por ende el desarrollo de la planta.

Esta limitación no solo afecta a la planta sino también a las condiciones que favorecen su crecimiento y desarrollo como por ejemplo la aireación

de la raíz y la infiltración natural del agua hacia las capas más profundas del suelo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes nacionales:

(Grandez Argomeda, 2017) en su tesis de investigación titulado “Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*) usando enmiendas” tiene por objetivo determinar la cantidad de remoción de cadmio y plomo en suelos contaminados, aplicando el *Zea mays* (maíz) y *Helianthus annuus* (girasol) con distintas enmiendas orgánicas, mediante la técnica de fitorremediación en el distrito de Huaripampa, provincia de Jauja y departamento de Junín; cuyo diseño utilizado fue el diseño factorial 4 x 2, donde el primer factor corresponde a las enmiendas orgánicas (compost y humus) y el segundo factor corresponde al maíz (*Zea mays*) y girasol (*Helianthus annuus*), en una muestra de 50 kg. de suelos del margen derecho del Valle del Río Mantaro a la cual se le aplicó 4 tratamientos: maíz (testigo), maíz con compost, maíz con humus y maíz con compost y humus. Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza (ANOVA) factorial, se determinó que los niveles de significancia resultaron menores al 5% (p-valor < 0.05) en las medias de las concentraciones de cadmio y plomo en maíz en las

muestras de compost, humus, (Compost y humus) y el testigo antes y después del tratamiento por lo que se concluyó que existe una remoción de plomo y cadmio de suelos contaminados, aplicando el *Zea mays* con distintas enmiendas orgánicas. Esta investigación permitirá deducir en base a los resultados obtenidos, que mediante la fitorremediación con *Zea mays* se remueve el plomo y cadmio de suelos contaminados por relave minero.

(Vargas Julca, 2017) en su tesis de investigación titulado “Eficiencia del maíz (*Zea mays*) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero Catac – Recuay, Ancash 2017”, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia fitoextractora del maíz (*Zea mays*) cultivado con abono orgánico (compost y humus a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo en suelos contaminados. El diseño utilizado fue experimental. En dicho estudio se consideró como muestra 185 kg de suelo agrícola contaminados con plomo por el pasivo ambiental minero a la cual se le aplicó 4 tratamientos: maíz (testigo), maíz con compost de restos de flores, maíz con humus de restos de flores y maíz con humus y compost de restos de flores. Los resultados obtenidos de la disminución del plomo en el suelo fueron: 138.63 mg/kg (maíz), 131,19 mg/kg (maíz y compost), 179.39 mg/kg (maíz y humus) y 167.91 mg/kg (maíz con humus y compost); asimismo, estadísticamente según la

prueba T-Student para muestras relacionadas, los niveles de significancia resultaron menores al 5% ($p\text{-valor}<0.05$) en las medias de las concentraciones de plomo antes y después del tratamiento; por lo que, se concluyó que la eficiencia fitoextractora del maíz (*Zea mays*) cultivado con abonos orgánicos logra una disminución de las concentraciones de plomo en suelos contaminados por el pasivo ambiental minero. Esta investigación permitirá establecer el uso de la prueba T-Student para muestras relacionadas ya que el estudio es longitudinal.

(Munive Cerrón, Loli Figueroa, Azabache Leyton, & Gamarra Sánchez, 2018) en su artículo científico titulado “Fitorremediación con maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados” desarrollado en las localidades de Mantaro y Muqui del valle Mantaro, tiene por objetivo evaluar el efecto de la aplicación de compost a base de Stevia sobre los metales pesados con la aplicación de la técnica de fitorremediación, utilizando el maíz; cuyo diseño empleado fue el diseño completamente al azar (DCA). En dicho estudio se seleccionaron a los suelos de las localidades Mantaro (margen izquierda) y Muqui (margen derecha) a las cuales se aplicaron tres tratamientos (T1: compost de Stevia, T2: vermicompost de Stevia y T3: químico). Los resultados obtenidos para la altura del maíz fueron mayores en suelos con menor cantidad de plomo y cadmio y viceversa; asimismo, el factor de bioconcentración (FBC) y de translocación (FT) indican resultaron menores a 1 en todos los tratamientos. Tras el análisis, se concluyó que

la presencia de mayores valores de plomo y cadmio en el suelo influyen en el crecimiento del cultivo del maíz y que; además, el maíz es una planta excluyente de plomo y cadmio. Esta investigación permitirá comparar los resultados obtenidos del crecimiento del maíz con los resultados de la altura del maíz cultivado en suelos contaminados al 10%, 20% y 30% y determinar el uso del *Zea mays* en la remoción de plomo y cadmio.

(Falcon Estrella, 2017) en su tesis de investigación titulado "Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays* L. en la estación experimental el Mantaro - Junín", cuyo objetivo es aplicar la tecnología de la fitoextracción en los suelos contaminados por metales pesados utilizando *Zea mays* L. en una muestra de tres lotes de terreno, denominados (A, B y C) con una extensión de 125 m², cada uno respectivamente, a los cuales se les aplicaron el *Zea mays* L. El diseño utilizado fue un diseño no experimental de bloques completamente randomizado (DBCR). Los resultados obtenidos para el plomo y cadmio disminuyeron después de la fitoextracción; asimismo, estadísticamente según el Análisis de Varianza (ANOVA) donde las medias de las concentraciones del cadmio no mostraron diferencia estadística significativa ($P > 0,05$); mientras que para el plomo (Pb) si mostraron diferencia estadística significativa ($P < 0,05$). Se concluyó que hubo fitoextracción para el plomo aplicando el *Zea mays*, pero para el cadmio no hubo fitoextracción significativo esto debido a que los suelos tenían flujos de entrada de agua de riego individualmente. Esta investigación

ayudara a deducir que hay factores que pueden alterar la remoción de metales pesados mediante la aplicación del *Zea mays*.

2.1.2. Antecedentes internacionales:

(Ruiz Huerta, Esther Aurora; Armienta Hernandez, María Aurora;, 2012) en su artículo científico titulado “Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros” realizado en la ciudad de Taxco de Alarcón, en la localidad de Santa Rosa, en la parte suroeste de México, evaluó la acumulación de arsénico y metales en suelos cercanos a jales o residuos mineros en muestras de suelo contaminado en zonas cercanas a los jales “El Fraile” a las cuales se les aplico un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA) los cuales fueron: suelo agrícola lejano a los jales (S1) , suelo agrícola cercano a los jales (S2), suelo muy cercano a los jales (S3) y jales (S4). El instrumento utilizado para el análisis de datos fue mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Duncan para comparar las medias ($p < 0.05$) donde se observó un incremento de plomo y cadmio de acuerdo a la cercanía a los jales, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las medias. Estos resultados revelan la influencia de los residuos en los suelos más cercanos, afectando el desarrollo de las plantas de maíz al acumularlos y altera su crecimiento causando efectos fitotóxicos que reflejan en su apariencia. Esta investigación permitirá

comparar los resultados con los indicadores independientes de la presente investigación.

(Jiménez Sosa, 2015) en su tesis de investigación titulado “Análisis descriptivo del *Helianthus annuus* y *Zea mays* como acumuladores de (cd, pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados” cuyo objetivo es analizar las especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays* como acumuladores de (Cd, Pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados en una población del cantón Junín de la provincia Manabí, Ecuador. Este tipo de investigación fue descriptiva. Los instrumentos empleados fue la revisión de material bibliográfico de diferentes especies vegetales, aplicados en la remoción de metales pesados. Como resultados se obtuvieron que la aplicación del *Zea mays* es eficiente para la remoción de cadmio, obteniendo una remoción de 59.88%, convirtiéndola como planta fitoestabilizadora de cadmio a suelos con pH <6. En conclusión, el *Zea mays* participa como planta fitoestabilizadora en suelos contaminados con cadmio. Esta investigación permitirá establecer la aplicación del *Zea mays* para la remoción del cadmio en suelos ácidos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fitorremediación

Según (Nuñez Lopez, Meas Vong, Ortega Borges, & J. Olguin, 2004) en la revista ciencia definen que la fitorremediación se compone de dos palabras, fito que en griego significa planta o vegetal, y remediar (del latín

remediare), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo; es decir fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales. De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

2.2.1.1. Mecanismos de fitorremediación

Según el rol que cumplen las plantas durante el proceso de fitorremediación, así como los principales mecanismos involucrados, para los metales pesados (Nuñez Lopez, Meas Vong, Ortega Borges, & J. Olguin, 2004), incluidos los metaloides, radionúclidos y ciertos tipos de contaminantes orgánicos, se aplican al menos uno de los siguientes mecanismos: fitoextracción, rizofiltración, fitoestimulación, fitoestabilización, fitovolatilización y fitodegradación.” (López Martínez, Gallegos Martínez, Pérez Flores, & Gutiérrez Rojas, 2005) . Tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1*Mecanismos de fitorremediación*

Mecanismos	Definición
Fitoextracción	Los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente éstos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción).
Rizofiltración	Se basa en la utilización de plantas crecidas en cultivos hidropónicos, se prefieren raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes.
Fitoestimulación	Se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces. Las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica.
Fitoestabilización	Las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos, que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interfase raíces: suelo.
Fitovolatilización	Se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera.
Fitodegradación	Consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación.

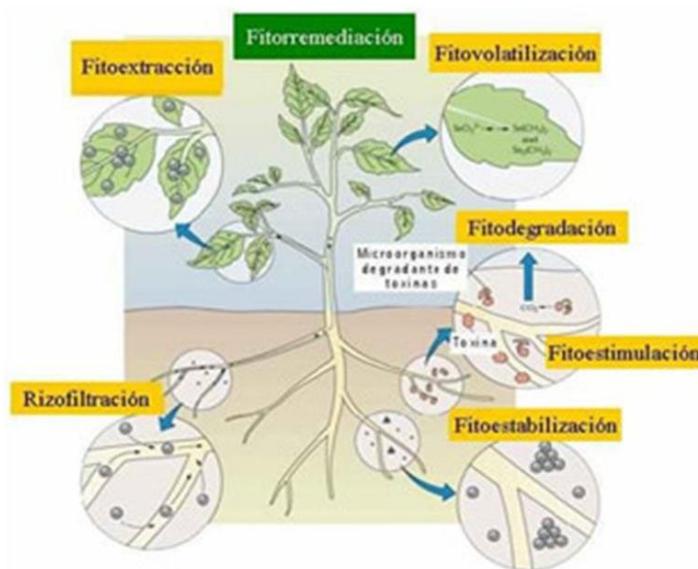
Nota: La tabla muestra la descripción de los diferentes tipos de fitorremediación. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas y xenobióticas (López Martínez, Gallegos Martínez, Pérez Flores, & Gutierrez Rojas, 2005).

De los mecanismos de fitorremediación descritos anteriormente, dos de ellos se aplican a suelos contaminados por metales pesados: la fitoestabilización y la fitoextracción. La fitoestabilización se utiliza en los suelos donde la gran cantidad

de contaminantes imposibilita la fitoextracción, y se basa en el uso de plantas tolerantes a los metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, reduciendo así su movilidad y su biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos. Por otra parte, la fitoextracción, también conocida como fitoacumulación, Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas. Hay plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulando en los tejidos concentraciones mucho más altas que las presentes en el suelo o en el agua. (Vásquez, 2003).

Figura 1

Mecanismos de fitorremediación



Nota. Representación de los mecanismos de fitorremediación en una planta (Vásquez, 2003).

2.2.1.2. Ventajas y desventajas de la Fitorremediación

De acuerdo al portal lifeder (Perdomo, 2021) entre las principales ventajas de aplicar la técnica de fitorremediación, se tiene:

- La aplicación de técnicas fitorremediadoras resulta muchísimo más económica que la implementación de los métodos convencionales de descontaminación.
- Las tecnologías de fitorremediación resultan eficientes aplicadas en grandes áreas con niveles medios de contaminación.
- Al ser técnicas de descontaminación *in situ*, no hay que transportar el medio contaminado, evitándose de esta manera la dispersión de los contaminantes por agua o aire.
- Para aplicar estas tecnologías solo se requiere de prácticas agrícolas convencionales; no se necesita la construcción de instalaciones especiales, ni la formación de personal capacitado para su implementación.
- Las tecnologías fitorremediadoras no consumen energía eléctrica, ni producen emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero.
- Son tecnologías que preservan suelos, aguas y atmósfera.
- Constituyen los métodos de descontaminación de menor impacto ambiental.

Según (Bernal Figueroa, 2014) en la revista de Investigación Agraria y Ambiental de Colombia, enlista las desventajas de la técnica de fitorremediación, entre ellas:

- Es un proceso relativamente lento (cuando las especies son de vida larga, como árboles o arbustos).
- Comparada con otras tecnologías empleadas requiere periodos de tiempo relativamente largos.
- Es dependiente de las estaciones.
- El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental.
- No todas las plantas son tolerables o acumuladoras.
- La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
- Se requieren áreas relativamente grandes.
- Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos (en sistemas acuáticos).

2.2.2. Características del *Zea mays*

“Planta herbácea que puede alcanzar hasta los 2,5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido. El tallo internamente tiene una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares. Las hojas son alargadas arrolladas al tallo, del cual

nacen las espigas o mazorcas. Cada mazorca consiste en un tronco cubierto por filas de granos, la parte comestible de la planta.

Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo. En la mayoría de los países de América, el maíz constituye la base histórica de la alimentación regional y uno de los aspectos centrales de la cultura mesoamericana. El uso principal del maíz es alimentario.” (Herbario de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2005).

Según (Maroto, 1998), el maíz presenta las siguientes características botánicas:

a. Raíces: Son fasciculadas y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

b. Tallo: Es simple, erecto en forma de caña y macizo en su interior, tiene una longitud elevada pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, además es robusto y no presenta ramificaciones.

c. Hojas

Son largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias y de gran tamaño. Se encuentran abrazando al tallo y con presencia de vellosidad en el haz, además los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.

Época de siembra del *Zea mays* amarillo

El maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) se siembra casi todo el año en el Perú, especialmente en la costa peruana.

El maíz amarillo duro, es un cultivo transitorio cuyo periodo vegetativo es de 4.5 a 5.5 meses dependiendo de la variedad y de la fecha de siembra, su siembra y cosecha es durante todo el año, siendo sus picos de siembra en los meses de setiembre y febrero y sus cosechas en junio y diciembre (Ministerio de Desarrollo Agrario y riego, 2021).

Tabla 2

*Ficha técnica del *Zea mays L.**

Característica	Descripción
Origen	América Tropical Familia: Gramineae
Taxonomía	Género: <i>Zea</i> Especie: <i>mays</i>
Morfología	
Raíz	Las raíces son fasciculadas con nudos en raíces secundarias o adventicias.
Hojas	Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades.
Inflorescencia	La inflorescencia es monoica, con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina presenta una panícula. En cambio, la inflorescencia femenina tiene unas estructuras vegetativas denominadas espádices.

Característica	Descripción
• Tallo	Es simple erecto, de elevada longitud, robusto y sin ramificaciones, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal.

Nota: La tabla muestra las características del *Zea mays*. (Herbario de la Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia, 2005).

2.2.3. Contaminación del suelo

El suelo puede definirse como la materia, no consolidada, compuesta por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprenden la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (Medina, Vallejo, & Rocha, 2001). Un suelo contaminado es aquel donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de índole tal que pueden construir un riesgo para el ambiente y la salud. La contaminación antrópica del suelo aparece cuando una sustancia está presente a concentración superior a sus niveles naturales, y tiene un impacto negativo en alguno o todos los constituyentes del mismo.

Los niveles para considerar un suelo contaminado dependen del elemento en cuestión, uso del suelo y la legislación de cada país (Bernal, Clemente, & Walker, 2007).

La contaminación del suelo es un tema alarmante. Se ha identificado como el tercer tema más importante para las funciones del suelo en Europa y Eurasia, cuarto en el Norte de África, quinto en Asia, séptimo en

el noreste del Pacífico, octavo en Norte América y noveno en el Sub-Sahara de África y Latinoamérica. (FAO and TIPS, 2015).

Se estima que, la toxicidad de contaminantes inorgánicos liberados en el ambiente cada año, ahora excede a las fuentes combinadas de contaminantes orgánicos y radioactivos. Una parte de estas sustancias inorgánicas finaliza contaminando el suelo. Los mayores problemas probablemente involucran mercurio, cadmio, plomo arsénico, níquel, cobre, zinc, cromo, molibdeno, manganeso, selenio, flúor y boro. En mayor o menor grado todos estos elementos son tóxicos para los humanos y animales. El cadmio y el arsénico son extremadamente venenosos; el mercurio, plomo, níquel, y flúor son moderadamente venenosos; el boro, cobre, manganeso y zinc tienen relativamente baja toxicidad a los mamíferos. (Weil & Brady, 2017).

2.2.4. Plomo en el suelo

Según la (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007) define que el plomo es de origen natural que se encuentra en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. El plomo puede encontrarse en todas partes en el medioambiente. Gran parte proviene de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la explotación minera y la manufactura.

El plomo en sí mismo no se degrada, pero los compuestos de plomo son transformados por la luz del sol, el aire y el agua; cuando el plomo se

libera al aire, puede desplazarse largas distancias antes de depositarse en el suelo, una vez que el plomo cae al suelo, generalmente se adhiere a sus partículas. El traslado del plomo desde el suelo al agua subterránea dependerá del tipo de compuesto de plomo y de las características del suelo. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007).

2.2.5. Cadmio en el suelo

“Algunos suelos pueden tener niveles de cadmio elevados porque las rocas de las que se formaron tenían el elemento en su composición. El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

Fuentes de contaminación con cadmio de importancia más local y con menor incidencia en los suelos agrícolas, son los aportes aéreos, en forma de polvo y vapores, provenientes de explotaciones mineras, de fundiciones de metales y de plantas incineradoras. Los materiales fósiles o sus derivados que se usan como combustibles contienen metales pesados y éstos pasan a la atmósfera volatilizada o en cenizas para luego

ser depositados en los suelos, la cubierta vegetal y las masas de agua, pudiendo producir contaminación de la cadena trófica. Los metales presentes en el carbón mineral pueden originar contaminación en áreas próximas a plantas termoeléctricas (Flores & Martins, 1997) y se han encontrado mayores niveles de cadmio en suelos urbanos y cercanos a vías de fuerte tránsito automotor.” (Andrades Rodriguez, Carral Gonzalez, Martinez Villar, Alvarez , & Alonso Martirena, 2000).

2.3. Conceptual

2.3.1. Fitorremediación con *Zea mays* para la remoción de plomo y cadmio

El *Zea mays. L* es una planta fitorremediadora para suelos contaminados por metales pesados como plomo y cadmio, según diversos estudios se verifica que la planta absorbe los metales pesados del suelo con mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz, confirmando que contribuye a solubilizar tales metales del suelo.

Las hojas del maíz son susceptibles de acumular una gran cantidad de metales pesados cuando el cultivo crece en suelos con un “cóctel” de los mismos. Las características del suelo, como el pH, así como la cantidad de metales en los mismos, determinan la capacidad de bioacumulación del maíz, de manera que, en general, retiene mayor cantidad de metales si es cultivado en suelos en los que su concentración es más elevada. Aunque esta concentración es mayor en las raíces, su alta presencia en las hojas resulta preocupante, ya que puede afectar negativamente a la

salud del ganado cuando son suministradas en su dieta. (Pastor, Gutiérrez-Ginés, & Hernández, 2012).

2.3.2. Suelos contaminados por relave minero

En la actualidad ante el desarrollo de la minería es inevitable los relaves mineros y el impacto que causará en el ambiente, principalmente entre tanto la degradación de los suelos. Los relaves mineros tienen un ciclo natural de contaminación y de degradación para reducir su impacto, el cual es perenne a través del tiempo. Dicha contaminación provoca la presencia de elementos, minerales y metaloides, originando perturbación en la calidad de vida de la población, también tienen consecuencias negativas en actividades económicas y productivas, en productos de consumo humano, agrícolas, ocasionando enfermedades en las personas; es por ello que es necesaria la promulgación de las normas que puedan regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente. (Menéndez & Muñoz, 2021).

2.3.3. Planta Concentradora UNI

Ubicada en la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), tenía como objetivo la aplicación de las técnicas de preparación, procesamiento de minerales a nivel planta piloto, y prestando servicios al que lo requería, contando con un mineral y de los medios económicos para cubrir los gastos que el proceso requería. (Dios Hidalgo & Zavala Garay, 2005).

El proceso de concentración comienza con el chancado del mineral proveniente de la extracción minera, hasta tamaños de partículas generalmente en el rango de centímetros o milímetros. El mineral chancado es luego reducido a tamaños menores a un milímetro, en grandes tambores rotatorios clasificados como molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos (SAG). Se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo (pulpa) a través del resto del proceso de extracción. El siguiente paso es llamado comúnmente flotación.

La flotación opera sobre el principio de que partículas individuales que contienen el mineral que se desea extraer, son hechas receptivas selectivamente, a pequeñas burbujas de aire que se adhieren a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque agitado. Las espumas que contienen estas partículas valiosas son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en concentrado, este producto final de la concentradora, es embarcado a la fundición para su refinación. Entre tanto, las partículas de desecho que quedan constituyen los relaves (Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Minero en el Perú).

La Planta Concentradora UNI cerrada actualmente; presenta en su nivel bajo 1718 m² de relave, con un estimado de 1500 toneladas, cercano al área se encuentra ubicado el “Centro de Investigación en Tecnologías

Ambientales, Biorremediación, y Energías Renovables en la Industria Minero Metalurgia”.

2.4. Definición de términos básicos

- **Contaminación:** La contaminación es la introducción de algún tipo de sustancia o energía que atentará contra el normal funcionamiento y equilibrio que ostentaba el medio inicialmente, provocando además un daño casi irreversible. (Definición ABC, s.f.)
- **Concentración:** Describe a la relación, asociación o proporción que se puede establecer al comparar la cantidad de soluto (es decir, de sustancia capaz de disolverse) y el nivel de disolvente (es decir, la sustancia que logra que el soluto se disuelva) presentes en una disolución. Cuanto más baja sea la proporción de soluto disuelto, más chica será la concentración, y viceversa. (Definición ABC, s.f.)
- **pH:** Concentración del ion hidrógeno en el agua. Se expresa la concentración de este ion como pH, y se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ion hidrógeno. (Ambientum, s.f.).
- **Remoción:** Desde el punto ambiental se define como la eliminación o traslado de una sustancia de un lugar a otro; en especial cuando esta sustancia es contaminante y acarrea consecuencias graves al medioambiente como aquellas que puedan poner en riesgo la salud y el bienestar de las especies vegetales y animales y el ser humano. (Ambientum, s.f.).

- **Suelo:** Parte externa de la corteza terrestre que es asiento de la vida, formada por la transformación de los minerales y la materia orgánica muerta. (Ambientum, s.f.).
- **Relave minero:** Corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos). (Ministerio de Energía y Minas).
- **Metales pesados:** El término de “metal pesado” se refiere a aquellos metales de la tabla periódica cuyo peso específico a 5 g/cm^3 o que tienen un número atómico por encima de 20, excluyendo generalmente alcalinos y elementos alcalinotérreos. (Breckle & Tiller, 1991).
- **Plomo:** El plomo es un metal gris-azulado, que adquiere un color grisáceo cuando se empaña (moja). Es muy flexible, elástico y se funde con gran facilidad. Es resistente a la presencia de los ácidos y a la corrosión atmosférica.” (Sociedad Nacional de Minería, 2015).
- **Cadmio:** El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de

cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. El cadmio no se oxida fácilmente, y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales, y plásticos.” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999).

- **Planta concentradora:** Una planta concentradora es un tipo de planta metalúrgica que tiene por objetivo el procesamiento de un mineral, con el fin de obtener el concentrado de aquel. En otras palabras, gracias a aquella se preparan los minerales obtenidos de los yacimientos y se transforman en productos que pueden someterse a procesos propios de la metalurgia extractiva. Para obtener el producto final, una planta concentradora pasa por una serie de procesos estos son: conminución, flotación, espesamiento y filtrado. Y en cada uno se usan una serie de máquinas distintas. (HLCSISTEMAS, 2019).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general e hipótesis específicas

3.1.1. Hipótesis general

La fitorremediación con *Zea mays* remueve el plomo y cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La fitorremediación con *Zea mays* removerá el Plomo del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI.
- La fitorremediación con *Zea mays* removerá el cadmio del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI.

3.2. Definición conceptual de las variables

❖ Variable Independiente:

Fitorremediación con *Zea mays*

Es un tratamiento amigable con el medio ambiente que consiste en la remoción de contaminantes presentes en el suelo mediante el uso del *Zea mays*, a través de procesos naturales que ocurren en la planta, es decir, los procesos bioquímicos realizados por la planta y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

❖ Variable Dependiente:

Remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero

Es la eliminación o disminución de plomo y cadmio presentes en el suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI, como resultado de la aplicación de fitorremediación con *Zea mays*.

3.2.1. Operacionalización de las variables

3.2.1.1. Definición operacional

Tabla 3

Definición conceptual

Variable	Definición Conceptual
<p>Variable independiente: Fitorremediación con <i>Zea mays</i></p>	<p>Es un tratamiento amigable con el medio ambiente que consiste en la remoción de contaminantes presentes en el suelo mediante el uso del <i>Zea mays</i>, a través de procesos naturales que ocurren en la planta, es decir, los procesos bioquímicos realizados por la planta y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.</p>
<p>Variable dependiente: Remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero</p>	<p>Es la eliminación o disminución de plomo y cadmio presentes en el suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI, como resultado de la aplicación de fitorremediación con <i>Zea mays</i>.</p>

Nota: La tabla muestra la definición conceptual de las variables. Elaboración propia.

Tabla 4

Matriz de operacionalización de las variables

"FITORREMEDIACIÓN CON <i>Zea mays</i> PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DE SUELO CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA UNI"						
VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	MÉTODO	TÉCNICA	
INDEPENDIENTE	Fitorremediación con <i>Zea mays</i> .	Tasa de germinación	und	Conteo	Conteo visual de plantas germinadas	
		Características físicas del <i>Zea mays</i>	Longitud de tallo	cm	Medición de altura del tallo	Medición de longitud de tallo con cinta métrica
		Crecimiento y color del <i>Zea mays</i>	Longitud de hoja	cm	Medición de longitud de hojas	Medición de longitud de hojas con cinta métrica
			Cantidad de hojas	und	Conteo	Conteo visual de hojas
			Color de las hojas	-	Identificación del color con escala de colores	Comparación del color de hoja con escala de colores
DEPENDIENTE	Remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero	pH	-	Medición con potenciómetro	Protocolo del pH del suelo (GLOBE, 2005)	
		Concentración de plomo y cadmio en el suelo	Concentración inicial de plomo y cadmio en el suelo	mg/kg	ICP-MS	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. PA 6020B Rev. 2 - July 2014.
			Concentración final de plomo y cadmio en el suelo	mg/kg	ICP-MS	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. PA 6020B Rev. 2 - July 2014.

Nota: La tabla muestra la definición operacional de las variable independiente y dependiente.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

Es una investigación de tipo longitudinal con enfoque cuantitativo. Es longitudinal, ya que la investigación analiza los cambios en las concentraciones del plomo y cadmio de los suelos contaminados por relave minero durante un tiempo establecido; asimismo, es cuantitativo debido a que la recolección de datos se fundamenta en la medición numérica y en base a ello, se realizara el análisis estadístico para probar la hipótesis de investigación.

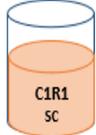
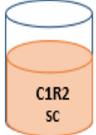
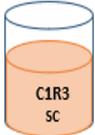
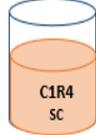
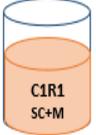
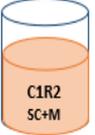
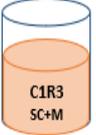
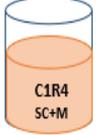
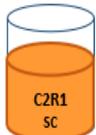
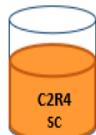
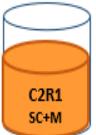
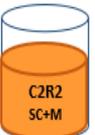
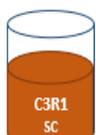
Según la finalidad del estudio, es aplicada porque la investigación busca dar solución al problema del suelo contaminado por relave minero, basándose en conocimientos logrados por la fitorremediación.

Diseño de investigación

El diseño de investigación consistió en analizar los cambios a través del tiempo de las concentraciones de plomo y cadmio en dos momentos distintos (antes y después del tratamiento con *Zea mays*), aplicado a suelos contaminados al 10% (C1), suelos contaminados al 20% (C2), suelos contaminados al 30% (C3), con 4 repeticiones cada una, utilizando para ello macetas experimentales de 8 kg de capacidad, obteniendo un total de 12 unidades experimentales de suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, según se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Diseño de la investigación

		TRATAMIENTO EXPERIMENTAL							
		ANTES DEL TRATAMIENTO (Sin Zea mays)				DESPUÉS DEL TRATAMIENTO (Con Zea mays)			
BLOQUES	C1:10%								
	C2:20%								
	C3:30%								

Donde SC: Suelo contaminado, M= maíz C1= Suelo contaminado al 10%, C2= Suelo contaminado al 20%, C3= Suelo contaminado al 30%, R1,2,3= Repeticiones.

Nota: La tabla muestra la descripción del diseño de investigación.

4.2. Método de investigación

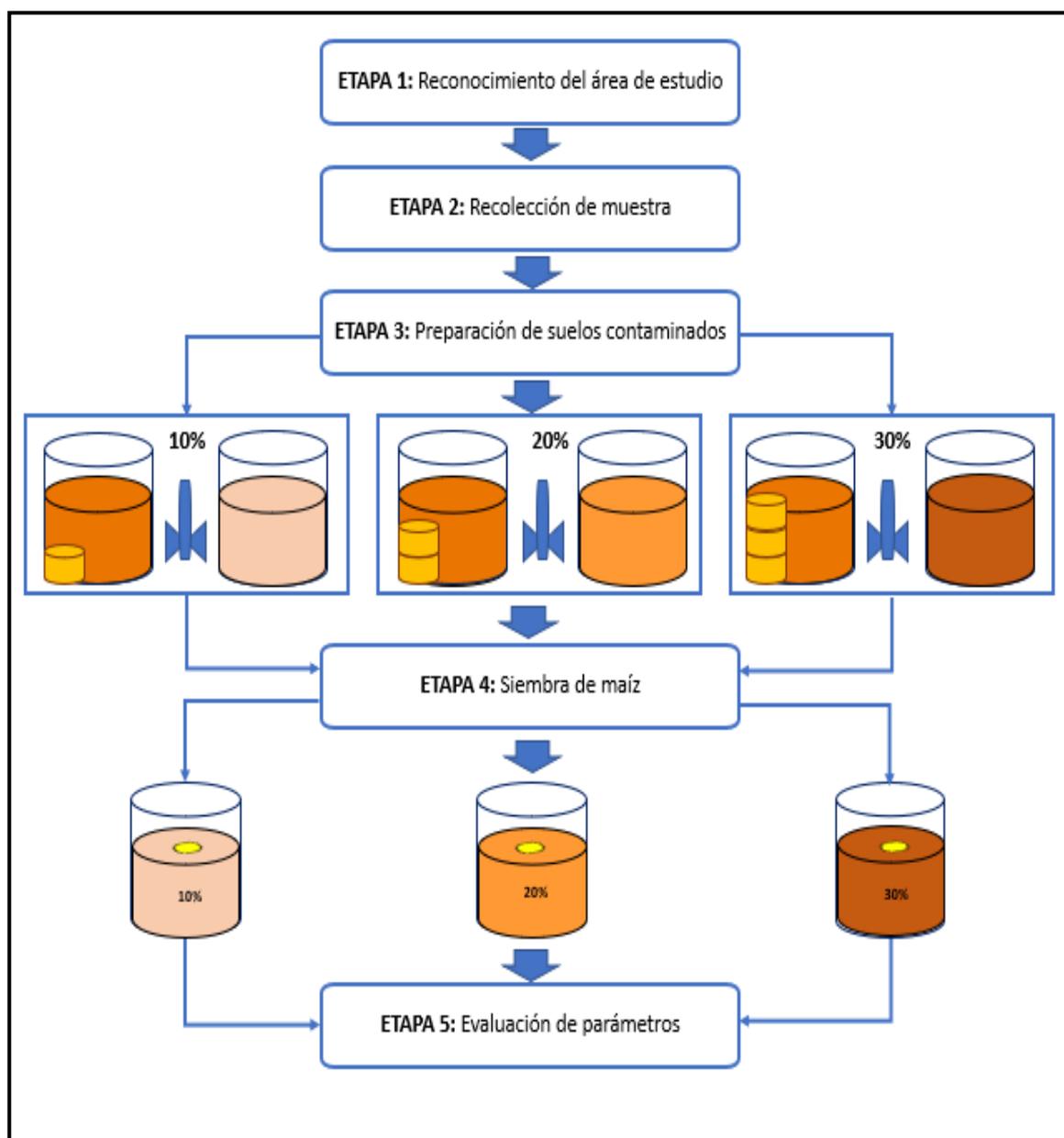
El método de la investigación consistió en 5 etapas, las cuales son:

- Etapa 1: Reconocimiento del área de estudio
- Etapa 2: Recolección de muestra
- Etapa 3: Preparación de suelos contaminados,
- Etapa 4: Siembra del maíz
- Etapa 5: Evaluación de parámetros

A continuación, en la figura 2 se resume la metodología de la investigación utilizada:

Figura 2

Diagrama de bloques de la metodología de la investigación



En la figura 2 se observa el diagrama de bloques de la metodología de la investigación, distribuido en 5 etapas.

Etapas 1: Reconocimiento del área de estudio

1. Información del área de estudio

Tiene por objetivo recopilar información relevante del área de estudio que comprende el área con potencial contaminación por el relave minero de la Planta Concentradora UNI, que involucre lo siguiente:

- Se identificó como fuente de contaminación del suelo, el vertimiento de relave minero proveniente de la Planta Concentradora de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la UNI.
- Se determinó los sitios impactados por la fuente de contaminación identificado y se reconoció su accesibilidad.
- Se realizó el levantamiento técnico (inspección) del sitio impactado para la identificación de los puntos donde exista evidencias de potencial contaminación.

2. Determinación del área de potencial interés

Tiene por objetivo determinar el área de potencial interés, el cual constituye la extensión del terreno sobre el que se realizara las labores de muestreo; asimismo, constituye el sitio impactado y potencialmente contaminado, comprendido dentro del área de estudio.

Asimismo, se determinó como área de potencial interés a la zona baja de la Planta Concentradora UNI, en base a la inspección realizada, donde se observó que la zona presentaba evidencias de potencial contaminación, entre los que destacan: restos de material vertido, alteración del color natural del suelo (figura 3) e información sobre vertimiento de relave minero proveniente de la Planta Concentradora UNI.

Figura 3

Suelo potencialmente contaminado por relave minero



Nota. Inspección del suelo potencialmente contaminado por relave minero

Una vez determinado el área de potencial interés, se localizó geográficamente en coordenadas geográficas UTM WGS84, según la tabla 6:

Tabla 6*Coordenadas geográficas del área de potencial interés*

VERTICE	COORDENADAS WGS84	
	Este (m)	Norte (m)
A	277096	8670485
B	277112	8670486
C	277121	8670476
D	277125	8670460
E	277126	8670445
F	277130	8670433
G	277128	8670418
H	277106	8670408
I	277101	8670459

Nota. En la tabla se observan las coordenadas geográficas del área de potencial interés

Posteriormente, se calculó el área de potencial interés, resultando 1718 m² equivalente a 0.17 ha.

Con la información recopilada se elaboró un mapa de ubicación del área de potencial interés con sus respectivas coordenadas, según se aprecia en la figura 4.

Figura 4

Mapa de ubicación del área de potencial interés



Nota. Delimitación del área de potencial interés con sus respectivas coordenadas geográficas

Etapas 2: Recolección de la muestra

El procedimiento para la recolección de muestra del suelo se realizó de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Muestreo de identificación

Se empleó el tipo de muestreo de identificación, según la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (MINAM), con el objetivo de averiguar la existencia de contaminación del suelo mediante la obtención de muestras representativas y con la finalidad de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N°011-2017-MINAM.

Asimismo, se utilizó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo residencial (Tabla 7) debido a que el área de potencial interés se encuentra cercano a la población estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería y; además, se hace uso del ECA porque que la medición del nivel de concentración de los metales se realizará directamente en el cuerpo receptor (área de potencial interés).

Tabla 7*Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos*

Parámetros en mg/kg PS	Usos del suelo		
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/Extractivo
Arsénico	50	50	140
Bario Total	750	500	2000
Cadmio	1.4	10	22
Cromo total	**	400	1000
Cromo VI	0,4	0,4	1,4
Mercurio	6,6	6,6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro libre	0,9	0,9	8

Nota: La tabla muestra los Estándares de calidad ambiental para suelos. Decreto Supremo N°011-2017-MINAM

2. Numero de muestras

Se determinó el número de puntos de muestreo en función al área de potencial interés, según lo establecido en la tabla 5 de la Guía para Muestreo de Suelos, donde le corresponde para un área de 0.17 ha \cong 0.2 ha realizar 5 puntos de muestreo.

Tabla 8

Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación

ÁREA DE POTENCIAL INTERÉS (HA)	PUNTOS DE MUESTREO EN TOTAL
0,1	4
0,2	5
0,5	6

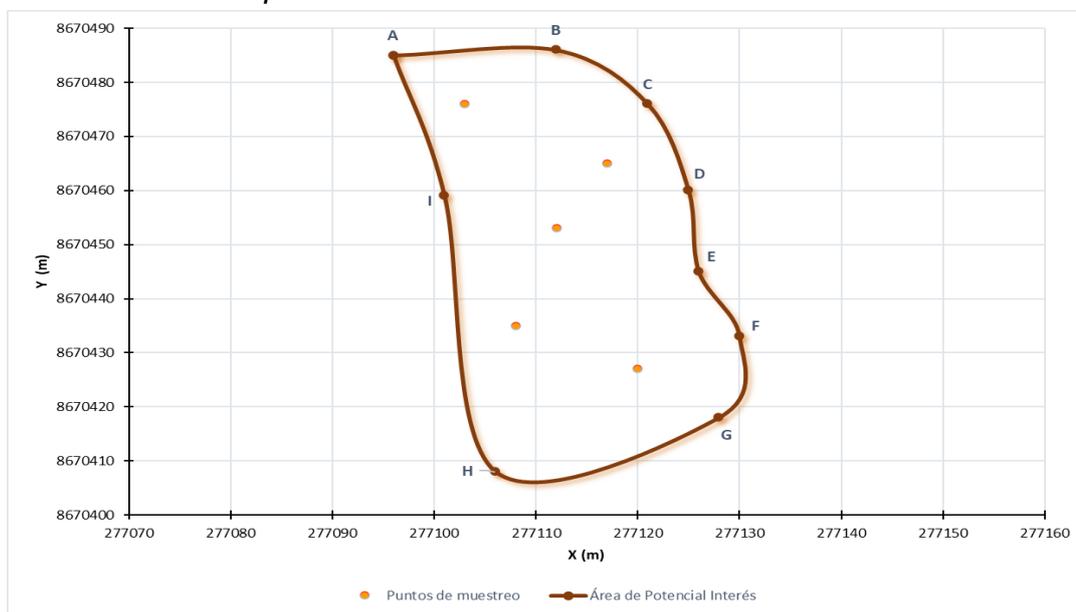
Nota. La tabla muestra los puntos de muestreo en total en función al área de potencial interés. Guía para Muestreo de Suelos

3. Patrón de muestreo

Se utilizó el patrón de muestreo aleatorio simple, que se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo con la finalidad de obtener una muestra representativa de la población, donde cada uno de los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionado.

Asimismo, el muestreo aleatorio simple consistió en ubicar al área de potencial interés en un plano cartesiano (X_i, Y_j) , donde se seleccionó los puntos de muestreo al azar mediante el programa ArcGIS, según la figura 5.

Figura 5

Muestreo aleatorio simple

Nota: La figura muestra la ubicación del área de potencial interés en un plano cartesiano

Se determinó las coordenadas UTM de cada punto de muestreo, según se aprecia en la tabla 9:

Tabla 9

Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas UTM Zona 18 WGS 84	
	Este (m)	Norte (m)
1	277103	8670476
2	277117	8670465
3	277112	8670453
4	277120	8670427
5	277108	8670435

Nota: La tabla muestra las coordenadas de los puntos de muestreo determinados de forma aleatoria simple

Figura 6

Puntos de muestreo



4. Técnica de muestreo

Se realizó la técnica de muestreo mediante calicatas con una dimensión de 1 m x 0.50 m x 0.30 m, para ello previamente se limpió el área a muestrear de cualquier desecho o escombros superficial; asimismo, se extrajo una muestra simple de cada punto de muestreo, obteniendo 5 muestras simples.

Figura 7

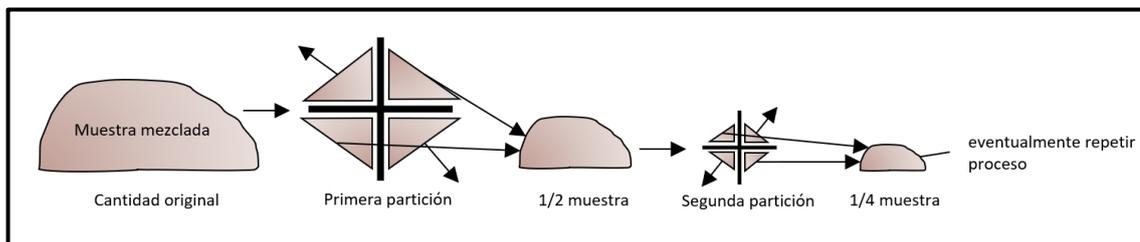
Recolección de muestra del área de potencial interés



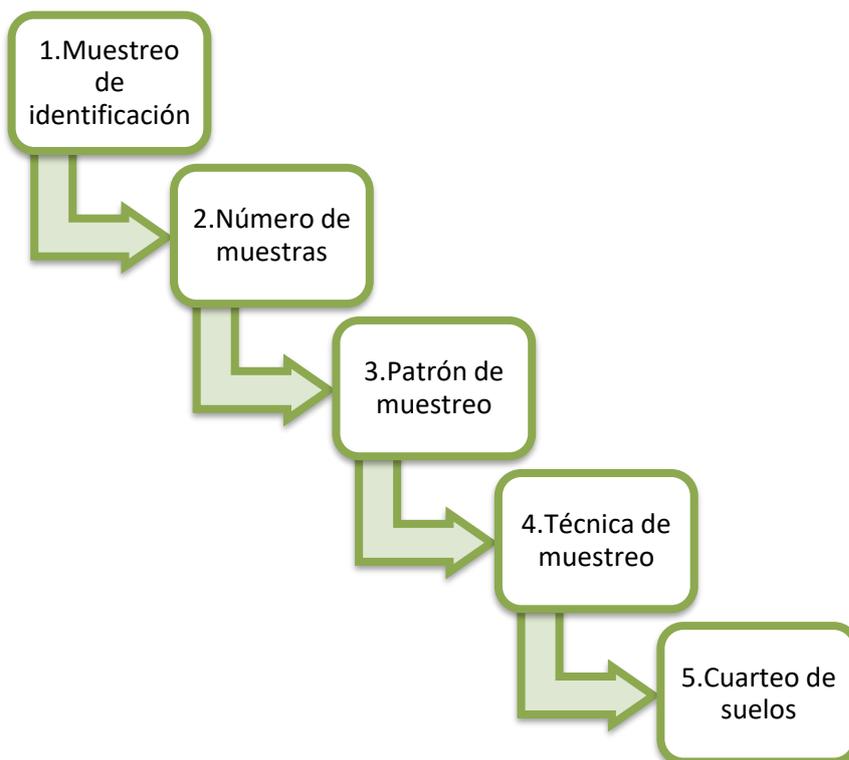
Nota. En la figura se observa la recolección de muestra del área de potencial interés

5. Cuarteo de suelos

Una vez recolectada las muestras simples se juntaron y homogenizaron hasta obtener una muestra compuesta en la cual se realizó el cuarteo de suelos para reducir y obtener una muestra compuesta representativa para ello se sometió a una partición que consistió en cuartear la muestra mezclada y se repitió el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario, según la siguiente figura.

Figura 8*Técnica del cuarteo*

Nota: Representación gráfica de la técnica del cuarteo. Guía para el muestreo de suelos contaminados

Figura 9*Diagrama de bloques para la recolección de muestra*

Nota: El diagrama de bloque muestra el proceso para la recolección de muestra del suelo potencialmente contaminado.

Etapa 3: Preparación de suelo contaminado

1. Homogenización de suelo

Para la homogenización del suelo, primeramente, se procedió a secar el suelo a temperatura ambiente, luego se realizó la molienda para reducir el tamaño del material, después se tamizó con una malla de 2mm para obtener una textura fina y finalmente se mezcló hasta conseguir un suelo completamente homogéneo.

2. Análisis de corrida de metales

Previo a la preparación de concentraciones se llevó a cabo un análisis de corrida de metales del suelo potencialmente contaminado por relave minero, para evaluar su nivel de contaminación por metales pesados, para ello se recolectó una muestra representativa de 250 gr y se envió al Laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C., en la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10

Resultados del análisis de corrida de metales del suelo potencialmente contaminado por relave minero

Parámetros	Resultado (mg/kg)	ECA Suelo residencial (mg/kg)	Interpretación
Litio (Li)	2.00	-	-
Boro (B)	8.82	-	-
Berilio (Be)	0.20	-	-
Aluminio (Al)	2 935.07	-	-
Fosforo (P)	378.36	-	-
Titanio (Ti)	144.29	-	-
Vanadio (V)	8.42	-	-
Cromo (Cr)	<0.08	400	No sobrepasa el ECA
Manganeso (Mn)	1 723.05	-	-
Cobalto (Co)	10.62	-	-
Níquel (Ni)	8.02	-	-
Cobre (Cu)	1 834.67	-	-
Zinc (Zn)	10 975.75	-	-
Arsénico (As)	4 943.49	50	Sobrepasa el ECA
Selenio (Se)	4.81	-	-
Estroncio (Sr)	44.29	-	-
Molibdeno (Mo)	36.67	-	-
Plata (Ag)	259.52	-	-
Cadmio (Cd)	56.11	10	Sobrepasa el ECA
Estaño (Sn)	20.04	-	-
Antimonio (Sb)	513.43	-	-
Bario (Ba)	555.51	500	Sobrepasa el ECA
Cerio (Ce)	12.02	-	-
Mercurio (Hg)	35.67	6,6	Sobrepasa el ECA
Talio (Tl)	5.21	-	-
Plomo (Pb)	26 655.91	140	Sobrepasa el ECA
Bismuto (Bi)	42.08	-	-
Torio (Th)	1.00	-	-
Uranio (U)	1.00	-	-
Sodio (Na)	700.20	-	-
Magnesio (Mg)	937.68	-	-
Potasio (K)	2 361.92	-	-
Calcio (Ca)	13 168.94	-	-
Hierro (Fe)	86 110.02	-	-

Nota: La tabla muestra los resultados del análisis de la corrida de metales del suelo potencialmente contaminado por relave minero, realizado por el Laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C.

3. Selección de metales

De los resultados obtenidos en la Tabla 10, se observa que el arsénico, cadmio, bario, mercurio y plomo sobrepasan el ECA para suelo residencial; por lo tanto, el área de potencial interés es un suelo contaminado por metales pesados proveniente del relave minero de la Planta Concentradora UNI.

El orden de los metales que sobrepasan el ECA - Suelo residencial es el siguiente:

1. Para el plomo sobrepasa 190 veces más.
2. Para arsénico sobrepasa 50 veces más
3. Para el cadmio sobrepasa 6 veces más
4. Para el mercurio sobrepasa 5 veces más
5. Para el bario sobrepasa 1 vez más

De acuerdo al análisis, se seleccionó el metal de plomo debido a que es el metal que presenta mayor nivel de concentración con respecto al ECA para suelo residencial y por último se seleccionó el cadmio debido a que reúne las características más perjudiciales de un metal tóxico, entre las cuales destacan: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, es bioacumulable, persistente en el medio ambiente y viaja a grandes distancias con el viento.

4. Preparación de suelo contaminado a concentraciones del 10%, 20% y 30%

La preparación de los suelos contaminados se realizó a concentraciones del 10%, 20% y 30% debido a que los resultados de las concentraciones iniciales, según el análisis de corrida de metales del suelo, resultaron considerablemente altos para plomo y cadmio lo que perjudicaría en el crecimiento y/o desarrollo de la planta y en consecuencia afectaría en la remoción del plomo y cadmio del suelo.

Para la preparación de suelos contaminados se realizó según el porcentaje en masa, en la cual se calculó la masa del soluto (suelo contaminado) y la masa del solvente (suelo sin contaminar) de acuerdo a la siguiente fórmula.

❖ Fórmula del porcentaje masa en masa (% m/m)

$$\text{Porcentaje masa/masa (\% m/m)} = \frac{\text{masa del soluto (g)}}{\text{masa de la solución (g)}} \times 100$$

$$\text{Masa del soluto} = \frac{(\% \text{ m/m}) \times \text{masa de la solución}}{100}$$

❖ Fórmula de masa de la solución

$$\text{Masa de la solución} = \text{Masa del soluto} + \text{Masa del solvente}$$

$$\text{Masa del solvente} = \text{Masa de la solución} - \text{Masa del soluto}$$

De acuerdo a la fórmula, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11*Preparación de concentraciones*

Ítem	Concentración (% m/m)	Masa soluto (g) Suelo contaminado	Masa solvente (g) Suelo sin contaminar	Masa solución (g)
C1	10%	3 200	28 800	32 000
C2	20%	6 400	25 600	32 000
C3	30%	9 600	22 400	32 000

Nota: La tabla muestra la masa del suelo sin contaminar y suelo contaminado por relave minero para la preparación de suelos contaminados al 10%, 20% y 30%.

Previamente, a la mezcla del suelo sin contaminar y suelo contaminado, se realizó el análisis de plomo y cadmio del suelo sin contaminar, proveniente de una tierra preparada, para determinar que no sobrepasa el ECA para suelo residencial, resultado lo siguiente:

Tabla 12*Resultado del plomo y cadmio del suelo sin contaminar*

Parámetros	Resultado (mg/kg)	ECA Suelo residencial (mg/kg)	Interpretación
Cadmio (Cd)	0.80	10	No sobrepasa el ECA
Plomo (Pb)	136.05	140	No sobrepasa el ECA

Nota: La tabla muestra los resultados del plomo y cadmio del suelo sin contaminar realizado por el Laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C.

Una vez determinado que el suelo sin contaminar no sobrepasa el ECA para suelo residencial, se procedió a realizar la mezcla del

suelo sin contaminar y suelo contaminado, manualmente hasta la homogeneidad, de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 11.

Figura 10

Mezcla del suelo sin contaminar y suelo contaminado



Nota: En la figura se muestra la mezcla del suelo contaminado por relave minero y suelo sin contaminar.

5. Dosis de compostaje

Se agregó una dosis de 100 gr de compost al suelo sin contaminar para luego ser homogenizado con el suelo contaminado, esto debido a una recomendación para el cultivo del *Zea mays*, como lo señala la pauta técnica para la aplicación de compost (Servicio Agrícola y Ganadero, 2017); que indica una aplicación de 10 a 20 Tn/ha (equivalente a 10 – 20 Tn/10 000 m²) para cultivos de maíz; lo que significa que para las unidades experimentales (macetas) con un área de 0.07 m², le corresponde una aplicación entre 0.07 a 0.14 kg (equivalente a 70 – 140 gr.) de compost.

La cantidad de compost agregada es la misma en todas las unidades experimentales (macetas). Se empleo el compostaje orgánico Abono Biokawsay, cuyas especificaciones técnicas se muestran en el Anexo

6. Análisis de suelo inicial

Previamente antes de colocar el suelo preparado en las macetas, se tomaron muestras iniciales del suelo de 250 gr de cada concentración para analizar el contenido de plomo y cadmio inicial, este contenido inicial de plomo pertenecerá a la concentración de contaminantes a fitorremediar; asimismo, dichas muestras iniciales fueron enviados al Laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C. donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13*Resultado de concentración del plomo inicial*

Ítem	Concentración (% m/m)	Repetición	Concentración inicial (mg/kg)	ECA Suelo Residencial (mg/kg)	Interpretación
C1	10%	C1R1	2679.07	140	Sobrepasa el ECA
		C1R2	2679.07	140	Sobrepasa el ECA
		C1R3	2679.07	140	Sobrepasa el ECA
		C1R4	2679.07	140	Sobrepasa el ECA
C2	20%	C2R1	5204.00	140	Sobrepasa el ECA
		C2R2	5204.00	140	Sobrepasa el ECA
		C2R3	5204.00	140	Sobrepasa el ECA
		C2R4	5204.00	140	Sobrepasa el ECA
C3	30%	C3R1	7786.89	140	Sobrepasa el ECA
		C3R2	7786.89	140	Sobrepasa el ECA
		C3R3	7786.89	140	Sobrepasa el ECA
		C3R4	7786.89	140	Sobrepasa el ECA

Nota: La tabla muestra los resultados de concentración de plomo inicial (mg/kg) por cada concentración y repetición.

Tabla 14*Resultado de concentración del cadmio inicial*

Ítem	Concentración (% m/m)	Repetición	Concentración inicial (mg/kg)	ECA suelo residencial (mg/kg)	Interpretación
C1	10%	C1R1	6.00	10	No sobrepasa el ECA
		C1R2	6.00	10	No sobrepasa el ECA
		C1R3	6.00	10	No sobrepasa el ECA
		C1R4	6.00	10	No sobrepasa el ECA
C2	20%	C2R1	12.00	10	Sobrepasa el ECA
		C2R2	12.00	10	Sobrepasa el ECA
		C2R3	12.00	10	Sobrepasa el ECA
		C2R4	12.00	10	Sobrepasa el ECA
C3	30%	C3R1	15.99	10	Sobrepasa el ECA
		C3R2	15.99	10	Sobrepasa el ECA
		C3R3	15.99	10	Sobrepasa el ECA
		C3R4	15.99	10	Sobrepasa el ECA

Nota: La tabla muestra los resultados de concentración de cadmio inicial (mg/kg) por cada concentración y repetición.

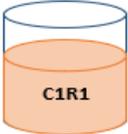
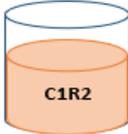
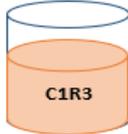
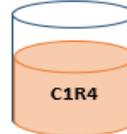
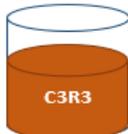
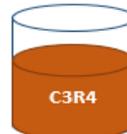
Se observa que para la concentración (C1) no sobrepasa el ECA para suelo residencial; sin embargo, igualmente se aplicara la técnica de la fitorremediación con el *Zea mays* ya que el objetivo del estudio es remover el plomo y cadmio de los suelos contaminados.

7. Preparación de macetas

Para la preparación de las macetas experimentales, se pesó 8 kg de cada suelo y se distribuyeron en maceteros de plástico con una capacidad de 8 kilos, según se muestra en la siguiente tabla.

Figura 11

Unidades experimentales

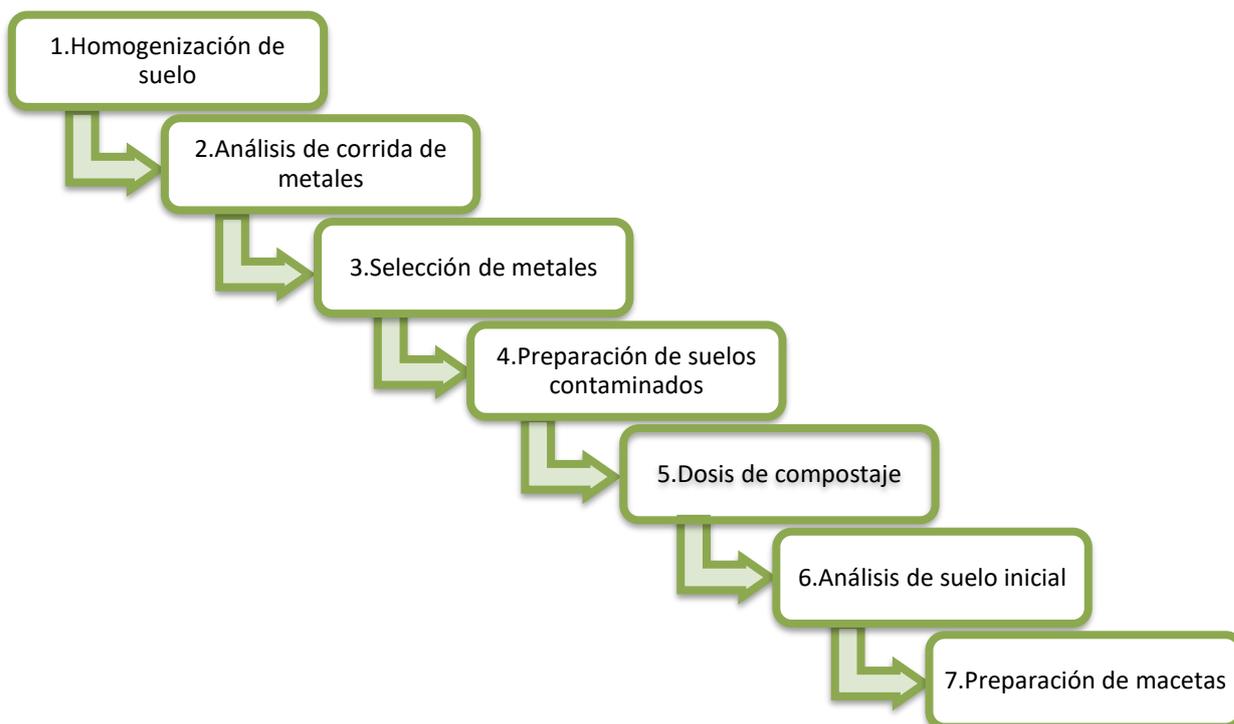
Item	Concentración (% m/m)	Unidades experimentales			
C1	10%				
C2	20%				
C3	30%				
Total		12 unidades experimentales			

Nota: En la figura se observa a las macetas experimentales por cada concentración con sus cuatro repeticiones.

Tabla 15*Unidades experimentales*

Ítem	Concentración (% m/m)	Repeticiones
C1	10%	4
C2	20%	4
C3	30%	4
Total		12 unidades experimentales

Nota: En la tabla se observa a las unidades experimentales por cada concentración con sus cuatro repeticiones.

Figura 12*Diagrama de bloques para la preparación de suelo contaminado*

Nota: El diagrama muestra el procedimiento para la preparación de suelos contaminados.

Etapa 4: Siembra del maíz

1. Selección de semillas

Para la selección de semillas de maíz amarillo, se realizó en base a las siguientes características:

- Uniformidad de tamaño y color
- Sanidad
- Forma del grano (plano)

Figura 13

Selección de semillas de Zea mays



Nota: En la figura se muestra la selección de semillas en base a las características descritas. (ORGANISMO CRISTIANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE HONDURAS, 2007)

2. Siembra del maíz

Posteriormente, se sembraron directamente a razón de 3 semillas por maceta a una profundidad de 2 cm por debajo del suelo y se dejaron crecer durante 14 semanas con régimen natural de luz (día-noche) y riego con agua desionizada sin permitir el lixiviado de la maceta.

Las semillas de la especie iniciaron su germinación entre los 7 y los 14 días después de la siembra.

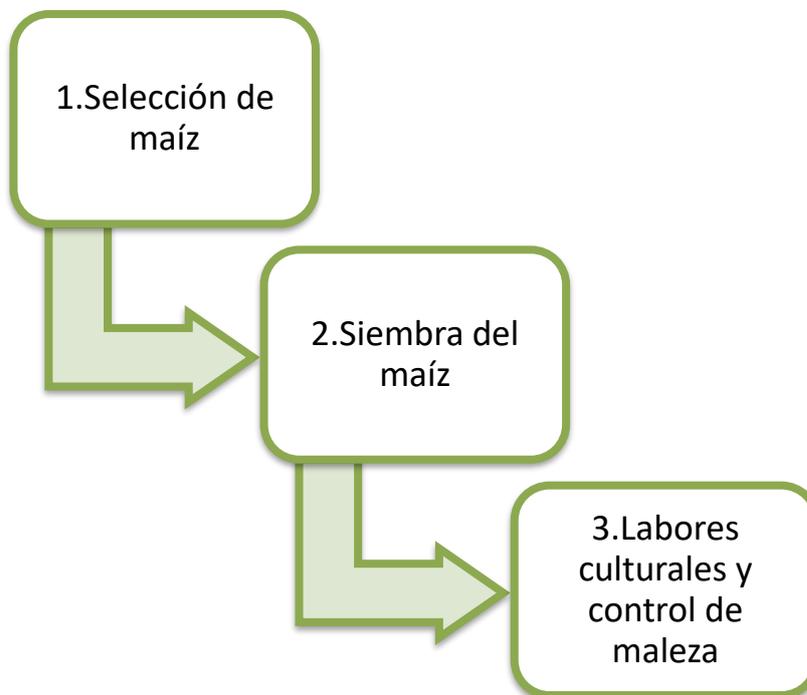
3. Labores culturales y control de maleza

Asimismo, durante el desarrollo de la planta se realizó labores culturales del cultivo que consistió en remover periódicamente el suelo para evitar la compactación de la parte superior de la maceta; asimismo, se realizó el control de la maleza para evitar enfermedades sobre el cultivo.

Luego de la germinación se procedió a extraer las plantas aparentemente más débiles y pequeños dejando una planta bien desarrollada.

Figura 14

Diagrama de bloques para la siembra del maíz



Nota: El diagrama de bloque muestra el proceso para la siembra del maíz

Etapas 5: Evaluación de parámetros

Para determinar el efecto de la fitorremediación con *Zea mays* en la remoción de plomo y cadmio, se evaluaron los siguientes parámetros:

1. Tasa de Germinación

Se monitoreo la cantidad de semillas germinadas en cada maceta, para establecer los porcentajes de germinación de las plantas, esto se evaluó hasta la emergencia del coleóptilo, estructura vegetal que brota de la superficie del suelo, demorándose entre 7 a 14 días.

2. Longitud de tallo

Se midió la longitud del tallo de la planta semanalmente de cada unidad experimental (macetero), considerando la altura a partir del borde del suelo hasta el inicio del crecimiento de la hoja más alta.

3. Longitud de hojas

Se midió la longitud de hoja de la planta semanalmente de cada unidad experimental (macetero), considerando la longitud a partir del borde del tallo hasta el ápice de la hoja más alta.

4. Cantidad de hojas

Se monitoreo la cantidad de hojas desarrolladas del maíz en cada macetero experimental a través de la observación realizadas semanalmente.

5. Color de las hojas

Se observó el cambio de color de las hojas del *Zea mays* durante el período de 14 semanas de tratamiento, para ello se empleó la tabla de comparación de colores del Instituto Internacional de Investigación de arroz (IRRI), como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Tabla de comparación del color de hojas



Nota: En la figura se muestra la tabla de colores para la comparación de color de hojas del *Zea mays* con la escala del International Rice Research Institute (IRRI).

La tabla muestra la variación de las tonalidades de color verde de las hojas, desde V1 que es la tonalidad de verde más claro hasta V8 que es la tonalidad de verde más oscuro.

Según un estudio realizado por el Instituto Internacional de Investigación de arroz (IRRI), señala que el color amarillento o verde pálido indica una deficiencia de Nitrógeno, mientras que el verde más oscuro significa mayor presencia de Nitrógeno.

La tabla de comparación de colores también puede aplicarse a las hojas del maíz, como lo indica el estudio de Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar, realizado por el (INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, 2011).

Figura 16

Diagrama de evaluación de parámetros en el maíz



Nota: El diagrama muestra el proceso de evaluación de los parámetros realizados en el maíz.

6. Medición de pH

Para la medición del pH se utilizó el método del potenciómetro en base a una suspensión de suelo en relación 1:1 (volumen/volumen), en la cual se ejecutó los siguientes pasos:

1. Se pesó 34.04 g de suelo y se colocó en un vaso precipitado de 250 ml.
2. Se agregó 40 ml de agua destilada sobre el vaso precipitado con el suelo.
3. Se mezcló homogéneamente la suspensión con una bagueta.
4. Se filtró la suspensión en un papel filtro por medio de un embudo

5. Se calibró el potenciómetro, según el manual del fabricante, con soluciones buffer pH 7.01 y pH 4.01.
6. Se midió el pH, sumergiendo el electrodo del potenciómetro en la suspensión en reposo.

La lectura del pH se realizó, según los criterios de evaluación del pH de un suelo, indicados en la Tabla 15.

Tabla 16

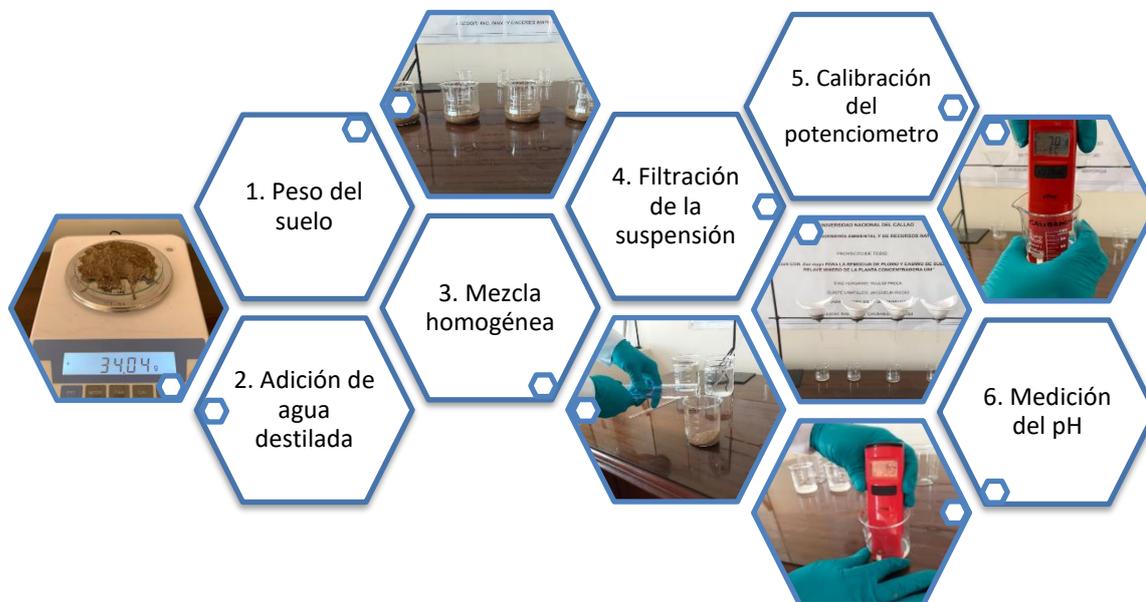
Criterio de evaluación de pH

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	<5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Mediamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Nota: La tabla muestra la categoría del pH y sus valores. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados (Fernández Linares, y otros, 2006).

Figura 17

Diagrama del proceso de la medición del pH del suelo



Nota: El diagrama muestra el proceso de la medición del pH del suelo mediante el potenciómetro.

7. Concentraciones de plomo y cadmio

Para determinar los valores de las concentraciones de plomo y cadmio se enviaron al laboratorio Inspectorate Services Perú SAC, laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) para el análisis químico en las muestras del suelo de cada concentración, donde se utilizó un equipo ICP - MS en base al método 3050B Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils (Digestión acida de sedimentos, lodos y suelos) y método 6020B Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (Plasma acoplada inductivamente – espectrometría de masas), establecidos por el EPA (Agencia de Protección Ambiental , siglas en ingles).

Una vez obtenidos los resultados de las concentraciones inicial y final, se procede a calcular la remoción del plomo y cadmio, de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Remoción} = \text{Concentración inicial} - \text{Concentración final (mg/kg)}$$

4.3. Población y muestra

Población

La población del estudio fue el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora – UNI, con un área de 1718 m² del distrito del Rímac, provincia de Lima, departamento de Lima.

Muestra

La muestra del estudio fue 200 kg de suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora-UNI. La toma de muestra se realizó en 5 puntos dentro de la población, según la guía para muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente (MINAM), donde, por cada punto se extrajo 40 kg de suelo contaminado.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Lugar de estudio

La experimentación se realizó ex-situ, condicionando un espacio en una vivienda en el distrito de Carabayllo (279505.1 E y 8685280.4 N), provincia de Lima, departamento de Lima (Figura 4) para realizar la prueba piloto.

Período de desarrollo

El experimento se desarrolló en un periodo de 14 semanas dándose inicio el 01/12/2020 y finalizando su cultivo el 11/03/2021.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

❖ Tasa de germinación

Técnica de medición

Se calculó la tasa de germinación realizando un conteo visual de las semillas germinadas en cada semana.

Instrumentos de medición

Para el registro de semillas germinadas se utilizó el formato de recolección de datos, el cual se encuentra en el anexo 4. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la tasa de germinación:

$$Tasa\ de\ germinación = \frac{Semillas\ sembradas}{Semillas\ germinadas} \times 100\%$$

La tasa de germinación se calculó para cada maceta.

❖ **Longitud de hoja del *Zea mays***

Técnica de medición

Se realizó la medición de longitud de hojas con una cinta métrica, la longitud se consideró desde el borde del tallo hasta el ápice de la hoja más alta del maíz.

Instrumentos de medición

El registro de medición de la longitud de hojas se realizó de manera semanal, en el formato de recolección de datos el cual se encuentra en el anexo 4, las unidades de mediciones se anotaron en cm.

❖ **Longitud de tallo del *Zea mays***

Técnica de medición

Se realizó la medición de longitud de tallo con una cinta métrica, la medida de longitud se consideró desde el suelo hasta el inicio de crecimiento de las hojas.

Instrumentos de medición

El registro de medición de la longitud de tallo se realizó de manera semanal, en el formato de recolección de datos el cual se encuentra en el anexo 4, las unidades de mediciones se anotaron en cm.

❖ **Cantidad de hojas del *Zea mays***

Técnica de medición

Se realizó el conteo de cantidad de hojas de manera visual.

Instrumentos de medición

El registro de cantidad de hojas se realizó de manera semanal, en el formato de recolección de datos el cual se encuentra en el anexo 4.

❖ **Color de hojas del *Zea mays***

Técnica de medición

Se realizó la comparación de color de hojas con una escala de colores IRRI.

Instrumentos de medición

El registro de color de hojas se realizó de manera semanal, en el formato de recolección de datos el cual se encuentra en el anexo 4.

❖ **pH del suelo**

Técnica de medición

Para la medición de pH se tomó como referencia el protocolo del pH del suelo (GLOBE, 2005). con una proporción de 1/1 en relación Volumen de suelo/volumen de agua destilada, esta mezcla se homogenizó con una bagueta para posteriormente ser filtrada en un embudo con papel filtro a un nuevo vaso precipitado donde se medirá el pH de la suspensión. (GLOBE, 2005).

Instrumentos de medición

La recolección de datos de pH se realizó a través de un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer pH 4.01 y 7.01. El registro se realizó de manera semanal, en el formato de recolección de datos el cual se encuentra en el anexo 4.

❖ **Remoción de cadmio en el suelo**

Técnica de medición

Para la medición de la remoción de cadmio en el suelo se recolectó una muestra homogénea de suelo por cada concentración y repetición (250 g), los cuales fueron ingresados al laboratorio Inspectorate Services Perú SAC, laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), para su análisis. El método empleado por el laboratorio para determinar la concentración de cadmio en la muestra de suelo es a través de la Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS). Se enviaron dos muestras al laboratorio una muestra inicial y muestra final.

Instrumentos de recolección de datos

La recopilación de datos se realizó en el “Formato de recolección de datos - Resultados de análisis de Pb y Cd” tal como se indica en el anexo 4; así mismo, los resultados fueron registrados según los informes de ensayo remitidos por el laboratorio.

❖ Remoción de plomo en el suelo

Técnica de medición

Para la medición de la remoción de plomo en el suelo se recolectó una muestra homogénea de suelo por cada concentración y repetición (250 g), los cuales fueron ingresados al laboratorio Inspectorate Services Perú SAC, laboratorio acreditado ante Instituto Nacional de Calidad (INACAL), para su análisis. El método empleado por el laboratorio para determinar la concentración de plomo en la muestra de suelo es a través de la Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS).

Instrumentos de recolección de datos

La recopilación de datos se realizó en el “Formato de recolección de datos - Resultados de análisis de Pb y Cd” tal como se indica en el anexo 4; así mismo, los resultados fueron registrados según los informes de ensayo remitidos por el laboratorio.

Tabla 17

Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

INDICADOR	TECNICA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Y/O REGISTRO
Tasa de germinación	Conteo visual de plantas germinadas con Hoja de registro	Formato de recolección de datos
Longitud de hoja del <i>Zea mays</i>	Medición de longitud de hoja del <i>Zea mays</i> con cinta métrica	Cinta métrica/ Formato de recolección de datos

INDICADOR	TECNICA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Y/O REGISTRO
Longitud de tallo del <i>Zea mays</i>	Medición de altura de Tallo del <i>Zea mays</i> , con cinta métrica	Cinta métrica / Formato de recolección de datos
Cantidad de hojas del <i>Zea mays</i>	Conteo visual de Hojas con formato de recolección de datos	Formato de recolección de datos
Color de hojas del <i>Zea mays</i>	Comparación del color de hoja con escala de colores IRRI	Escala de colores IRRI / Formato de recolección de datos
pH del suelo	Protocolo del pH del suelo.	Potenciómetro
Remoción de Cadmio en el suelo	ICP-MS EPA 3050B Rev. 2 - 1996. PA 6020B Rev. 2 - July 2014.	Equipo de Laboratorio
Remoción de Plomo en el suelo	ICP-MS EPA 3050B Rev. 2 - 1996. PA 6020B Rev. 2 - July 2014.	Equipo de Laboratorio

Nota: La tabla muestra las técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Los datos fueron analizados y procesados en el paquete estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS), versión 21.0.

Para los datos obtenidos de las concentraciones antes y después del tratamiento se aplicó la prueba T-Student para muestras relacionadas. Esta prueba permitió determinar las diferencias significativas en la remoción de plomo y cadmio antes y después del tratamiento con *Zea mays*.

Asimismo, para los datos obtenidos de la germinación, la altura de las plantas, número de hojas y pH del suelo se utilizó el programa de Microsoft Excel para tabular los datos obtenidos en las evaluaciones realizadas en campo, facilitando la obtención de resultados.

Por último los datos obtenidos del color de hojas no se les aplicó ninguna prueba estadística, estas se analizaron mediante la observación.

V. RESULTADOS

Contrastación de hipótesis con estadística descriptiva, inferencial u otra utilizada para tabular los datos obtenidos en las evaluaciones realizadas en campo, facilitando la obtención de resultados.

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Tasa de germinación

En la siguiente tabla se muestra la tasa de germinación por cada repetición

Donde:

C1: Representa un suelo al 10% contaminado con relave minero de la Planta Concentradora UNI

C2: Representa un suelo al 20 % contaminado con relave minero de la Planta Concentradora UNI

C3: Representa un suelo al 30 % contaminado con relave minero de la Planta Concentradora UNI

R1, R2, R3 y R4: representan los 4 maceteros o repeticiones que se realizó por cada concentración.

Mediante un conteo visual se muestra los datos obtenidos en la siguiente Tabla 17, los datos de cantidad de semillas sembradas por cada repetición, las semillas germinadas, y la tasa de germinación.

$$Tasa\ de\ germinación = \frac{Semillas\ germinadas}{Semillas\ sembradas} \times 100\%$$

Tabla 18*Tasa de germinación por cada repetición*

Concentración	Repeticiones	Siembra	Germinación			Total germinado	Tasa de germinación %
			Semana 1	Semana 2	Semana 3		
C1 (10%)	R1	3	1	2	-	3	100.00
	R2	3	-	3	-	3	100.00
	R3	3	-	3	-	3	100.00
	R4	3	2	1	-	3	100.00
C2 (20%)	R1	3	2	-	-	2	66.67
	R2	3	-	3	-	3	100.00
	R3	3	-	3	-	3	100.00
	R4	3	1	2	-	3	100.00
C3 (30%)	R1	3	-	2	-	2	66.67
	R2	3	-	2	-	2	66.67
	R3	3	-	2	-	2	66.67
	R4	3	1	2	-	3	100.00

Nota: La tabla muestra los valores de germinación por cada concentración y repetición a lo largo de las 14 semanas, donde (-) significa que no hubo germinación.

Las semillas sembradas germinaron a lo más en la segunda semana, en donde la mayoría de macetas presentaron una tasa de germinación del 100%, quiere decir que, de las tres semillas sembradas, germinaron las tres; los valores de 66.67% de tasa de germinación indica que de tres semillas sembradas solo germinaron dos, además esta tasa corresponde principalmente a la C3, la cual presenta un mayor porcentaje de suelo contaminado.

Tabla 19

Media de tasa de germinación por cada repetición

CONCETRACIONES	PROMEDIO DE LA TASA DE GERMINACIÓN %
C1 (10%)	100.00
C2 (20%)	91.67
C3 (30%)	75.00

Nota: La tabla muestra los valores promedio de la tasa de germinación de las cuatro repeticiones por cada concentración.

Según la Tabla 19, indica que el suelo con mayor concentración de contaminante (C3), tiene la menor tasa promedio de germinación, es decir, las semillas sembradas tienen menor adaptación debido a la mayor presencia de contaminante, en comparación con C1 que, aun teniendo contaminante, las semillas se adaptaron y pudieron germinar por completo, esto nos indica que, a mayor concentración de contaminante en el suelo, menor es la tasa de germinación.

5.1.2. Longitud de tallo

Mediante la medición de altura de tallo del *Zea mays* utilizando la cinta métrica, se muestran los datos en la siguiente tabla 19 de su crecimiento semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

Tabla 20*Longitud de tallo por cada repetición*

Concentración	Repeticiones	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	R1	0	0.8	4	4	4	4.5	5	6	12	15	16	19	21	25.5
	R2	0	1.2	3	4.5	4.5	5	6	7	12	15.3	16	19	20	22
	R3	0	1.5	3	4	4	4	6	8	11	16.6	19	20.2	21	23
	R4	0	1.5	4	4.5	5	4.5	5.5	6	8	12	14	15.5	15	15
C2: 20%	R1	0	0.5	3.5	5	4.5	4.5	5	5	8	11	12	14	16	16
	R2	0	0.7	2.5	4	5	5	6.5	8.5	11.5	16.3	16	18.2	19	19
	R3	0	0.5	2.5	3	4	4	5	6	8	11	11	16	17	18.5
	R4	0	0.4	3	4	5	5	5	5	8	13	15	18.2	19	22
C3: 30%	R1	0	0.6	2.5	3	3.5	3.5	3.5	4	7	14	12	13.1	12	14
	R2	0	0	1	1	1	1	2.5	4	7	8	11	12	12	12.5
	R3	0	1.3	4	3	3	3.5	4	5	6	9.5	10	10	11	11
	R4	0	0	2	4.5	4.5	5.5	5.5	6	7.5	11.5	10	10.5	11	11

Nota: La tabla muestra los valores de longitud de tallo por cada concentración y repetición a lo largo de las 14 semanas.

De acuerdo a los valores de la Tabla 20, se muestra que a lo largo de las catorce semanas, la longitud del tallo del *Zea mays* fue creciendo semana a semana para todas las concentraciones (C1, C2 y C3), además se observa que a mayor concentración del suelo contaminado (C3) menor es la longitud del tallo del *Zea mays*, en comparación con C1, la cual presentó mayor longitud del tallo del *Zea mays*, es decir, hay una relación inversa entre la longitud del tallo y la concentración del suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI.

Se muestran los datos en la siguiente tabla 21 del promedio de su crecimiento semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

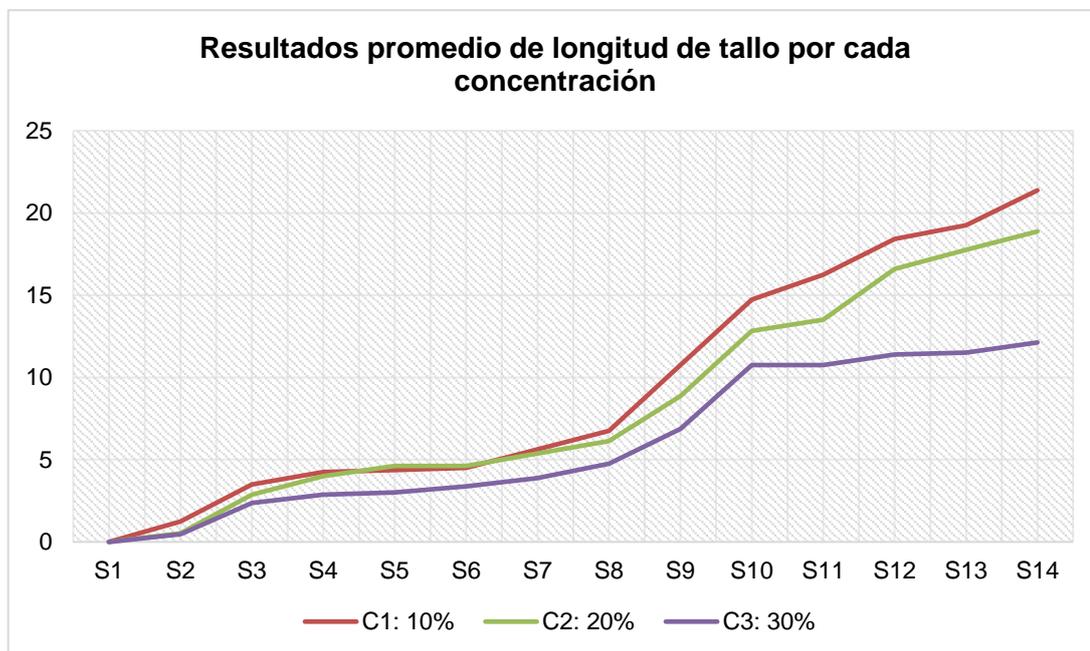
Tabla 21*Media de longitud de tallo por cada repetición*

Concentración	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	0	1.25	3.5	4.25	4.375	4.5	5.625	6.75	10.75	14.725	16.25	18.425	19.25	21.375
C2: 20%	0	0.525	2.875	4	4.625	4.625	5.375	6.125	8.875	12.825	13.5	16.6	17.75	18.875
C3: 30%	0	0.475	2.375	2.875	3	3.375	3.875	4.75	6.875	10.75	10.75	11.4	11.5	12.125

Nota: La tabla muestra los valores promedio de la longitud de tallo por cada concentración.

Figura 18

Resultados promedio de longitud de tallo por cada concentración



Nota: Representación gráfica de resultados de longitud de tallo por cada concentración durante las 14 semanas.

De acuerdo a la Figura 18 se observa que hay una relación directa entre el crecimiento del tallo del *Zea mays* y el tiempo de la fase experimental (14 semanas) para todas las concentraciones (C1, C2 y C3).

5.1.3. Longitud de hoja

Mediante la medición de longitud de hoja del *Zea mays* utilizando la cinta métrica, se muestran los datos en la siguiente tabla 21 de su crecimiento semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

Tabla 22*Longitud de hoja por cada repetición*

Concentración	Repeticiones	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	R1	0	0	15	21	21	21	22	23	33.5	48.6	50	52.5	51	51
	R2	0	0	17	18.5	21.5	22	22.3	21.8	37.5	46.7	52	52.3	51	51
	R3	0	0	11	12.5	16.5	17	23.4	26	40.5	45.2	48	50.3	53	53
	R4	0	0	16	22	22.5	22.5	21	20	25.5	36.2	39.5	41.3	43	43
C2: 20%	R1	0	0	16	18.5	19.5	20	18.3	16.5	24.5	35.7	40	43.2	40	46
	R2	0	0	15	19	21	21	24.2	28	39.5	46	50	51.6	48.5	50
	R3	0	0	14	14	18	18	18.7	20	36	43	47	48.6	48	48
	R4	0	0	14	17.5	17.5	19.5	18.4	18	26.5	36	40	45.7	50	50
C3: 30%	R1	0	0	11	12	12	15	14.3	14	22	34.3	40	41	41.5	42
	R2	0	0	3	1.5	5	7.5	12.2	22	30.5	37.2	40	39	40	41
	R3	0	0	13	12	16	16	15.5	15.6	23	29	30	30	30	30
	R4	0	0	11	16	19	19.5	18.6	18	27	30.5	32	28	29	30

Nota: La tabla muestra los valores de longitud de hoja por cada concentración y repetición a lo largo de las 14 semanas.

De acuerdo a los valores de la Tabla 22 se muestra que hay un crecimiento a lo largo de las catorce semanas, sin embargo, se observa entre la semana 7 y semana 8 de C1-R4, C2-R1 y C3-R4, hay una disminución en la longitud de la hoja del *Zea mays* esto debido a la caída por resequeidad de la punta de la hoja, la cual influyó al momento de hacer la medición. Además, se observa que al final de las catorce semanas C3 obtuvo una menor longitud de hoja en comparación con C1 y C2, es decir que a mayor concentración de suelo contaminado por relave menor resultó menor la longitud de la hoja.

Se muestran los datos en la siguiente tabla 23 del promedio de su crecimiento semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

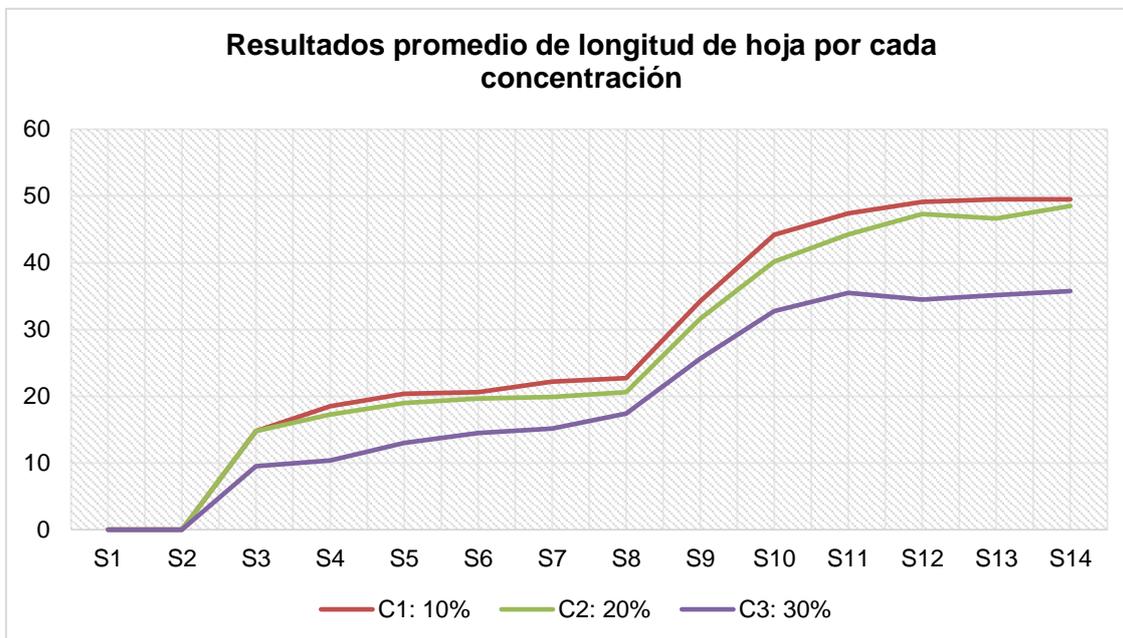
Tabla 23*Media de longitud de hoja por cada repetición*

Concentraciones	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	0	0	14.75	18.5	20.375	20.625	22.175	22.7	34.25	44.175	47.375	49.1	49.5	49.5
C2: 20%	0	0	14.75	17.25	19	19.625	19.9	20.625	31.625	40.175	44.25	47.275	46.625	48.5
C3: 30%	0	0	9.5	10.375	13	14.5	15.15	17.4	25.625	32.75	35.5	34.5	35.125	35.75

Nota: La tabla muestra los valores promedio de la longitud de hoja por cada concentración.

Figura 19

Resultados promedio de longitud por hoja por cada concentración



Nota: Representación gráfica de resultados de longitud de hoja por cada concentración durante las 14 semanas.

De acuerdo a la Figura 19 se observa un crecimiento de la hoja del *Zea mays* a partir de la semana 2 hasta la semana 14, además durante el periodo de tiempo, la gráfica nos muestra un crecimiento semanal de la longitud de hoja del *Zea mays* por cada concentración (C1, C2 y C3). Asimismo, se observa que en promedio C3 presentó un menor crecimiento en comparación con C2 y C1 que presentaron valores similares.

5.1.4. Cantidad de hojas

Mediante el conteo visual del número de hojas del *Zea mays*, se muestran los datos en la siguiente tabla 23 de crecimiento semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

Tabla 24

Cantidad de hojas por cada repetición

Concentración	Repeticiones	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	R1	0	2	3	3	3	4	4	5	6	8	8	8	8	9
	R2	0	2	3	3	3	4	4	6	7	7	7	8	8	8
	R3	0	2	3	3	3	4	4	5	7	7	8	8	8	9
	R4	0	2	3	4	3	5	4	4	6	7	7	7	7	7
C2: 20%	R1	0	2	3	3	3	4	4	4	6	6	7	7	7	7
	R2	0	2	3	4	3	4	4	5	6	7	5	6	7	7
	R3	0	2	3	3	3	4	4	4	6	6	5	6	7	7
	R4	0	2	3	3	3	4	4	5	6	6	6	6	7	7
C3: 30%	R1	0	2	3	3	3	4	4	4	5	6	7	5	5	5
	R2	0	1	1	2	3	3	3	4	5	4	6	5	5	5
	R3	0	2	3	3	3	4	4	5	6	6	6	5	5	4
	R4	0	2	3	3	3	4	4	5	6	5	6	5	4	4

Nota: La tabla muestra los valores de cantidad de hoja por cada concentración y repetición a lo largo de las 14 semanas.

De acuerdo a los valores de la tabla 24, se muestra que de manera general, la cantidad de hojas del *Zea mays* incrementó a lo largo de las catorce semanas, sin embargo, entre las semanas 9 y 10 se evidencia una disminución de la cantidad de hojas en C3 -R2 y C3-R4, lo mismo ocurre en las otras repeticiones específicamente de C3, este comportamiento se repite también en C1 y C2 pero en menor cantidad de veces; esto se evidenció en campo a consecuencia de una caída de la hoja debido a su resequead. Se observa también que al final de las

catorce semanas C3 obtuvo una menor cantidad de hojas en comparación con C1 y C2, es decir, que, a mayor concentración de suelo contaminado por relave, menor resultó la cantidad de hojas del *Zea mays*.

Tabla 25

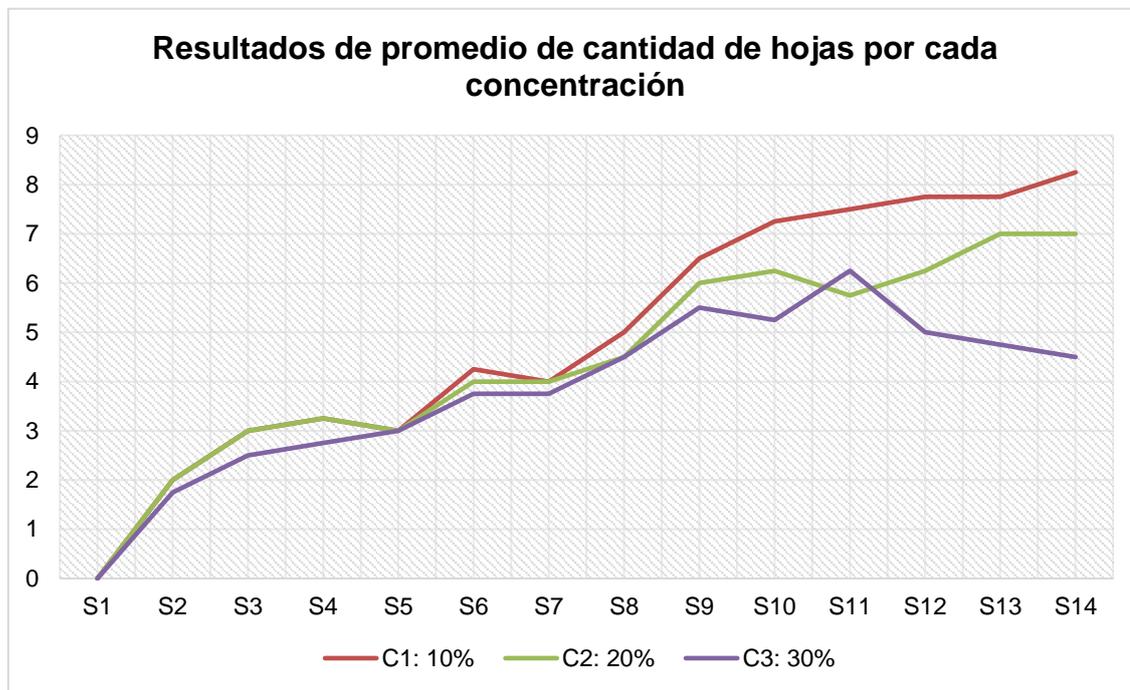
Media de Cantidad de hojas por cada concentración

Concentraciones	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	0	2	3	3.25	3	4.25	4	5	6.5	7.25	7.5	7.75	7.75	8.25
C2: 20%	0	2	3	3.25	3	4	4	4.5	6	6.25	5.75	6.25	7	7
C3: 30%	0	1.75	2.5	2.75	3	3.75	3.75	4.5	5.5	5.25	6.25	5	4.75	4.5

Nota: La tabla muestra los valores promedio de cantidad de hoja por cada concentración.

Figura 20

Resultados promedio de cantidad de hojas por cada concentración



Nota: Representación gráfica de resultados de cantidad de hojas por cada concentración durante las 14 semanas.

De acuerdo a la Figura 20, se observa de manera general, un comportamiento creciente en el promedio de la cantidad de hojas del *Zea mays* durante las catorce semanas, además se observa en la semana 11 que la cantidad de hojas de C3 es mayor que C2, esto debido, a que en dicha semana hubo una caída de hojas en C2 debido a la resequedad. Asimismo, se evidencia que, al término de las catorce semanas, hay una relación inversa entre la concentración y la cantidad de hojas para C1, C2 y C3.

5.1.5. Color de hojas

Tabla 26

Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C1: 10%

Concentración	Repeticiones	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
C1: 10%	R1														
		V3	V2	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V3	
	R2														
		V3	V2	V2	V2	V2	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V3	
	R3														
		V3	V3	V3	V2	V2	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V4	V3	
	R4														
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V4	V3

Nota: La tabla muestra los colores de hoja de la C1 por cada repetición a lo largo de las 14 semanas.

Interpretación de la tabla de colores

R1: Se observa la coloración de las hojas en la semana 2 una predominancia de color V3, luego una tonalidad más baja desde la semana 3 hasta la semana 6 (V2), desde la semana 7 hasta la semana 11 el color es V3, posterior se observa una tonalidad más oscura de V4 en la semana 12 y 13 y finalmente en la semana 14 el color V3.

R2: Se observa la coloración de las hojas en la semana 2 una predominancia de color V3, luego una tonalidad más baja desde la semana 3 hasta la semana 6 (V2), desde la semana 7 hasta la semana 11 el color es V3, posterior se observa una tonalidad más oscura de V4 en la semana 12 y 13 y finalmente en la semana 14 el color V3.

R3: Se observa en la semana 2, 3 y 4 la predominancia del color V3, luego se ve una tonalidad más baja a partir de la semana 5 y 6, las semanas 7,8 y 9 predomina el color V3 y va aumentando la tonalidad en las siguientes semanas, la semana 10,11,12 y 13 tiene el color V4 y la semana 14 tiene el color V3.

R4: Se observa la predominancia del color V3 a lo largo de las semanas 2,3,4,5,6,7,8 y 9, luego se ve un cambio en la tonalidad en las semanas 10,11,12 y 13, finalmente en la semana 14 el color es V3.

Tabla 27

Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C2: 20%

CONCENTRACIÓN	REPETICIONES	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C2: 20%	R1													
		V3	V2	V3	V3	V2	V3							
	R2													
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	R3													
		V3	V3	V3	V2	V2	V3							
	R4													
		V3	V3	V3	V2	V3								

Nota: La tabla muestra los colores de hoja de la C2 por cada repetición a lo largo de las 14 semanas.

Interpretación de la tabla de colores

R1: Se observa la coloración de las hojas en la semana 2 una predominancia de color V3, luego una tonalidad más baja la semana 3, la semana 4,5 el color es V3, la semana 6 el color es V2, posterior se observa la predominancia del color V3 desde la semana 7 hasta la semana 14.

R2: Se observa la predominancia y mantenimiento del color V3 desde la semana 2 hasta la semana 14.

R3: Se observa en la semana 2, 3 y 4 la predominancia del color V3, luego se ve una tonalidad más baja a partir de la semana 5 y 6, finalmente desde las semanas 7 hasta la semana 14 se observa la predominancia del color V3.

R4: Se observa la predominancia del color V3 a lo largo de las semanas 2,3 y 4, luego se ve un cambio en la tonalidad más baja en la semana 5 al color V2, y finalmente desde la semana 6 hasta la semana 14 se observa un mantenimiento en el color de V3.

Tabla 28

Codificación de color de la planta por cada repetición de la concentración C3: 30%

Concentración	Repeticiones	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
C3: 30%	R1														
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V3	V3	V3	V3
	R2	-													
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	R3														
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	R4														
		V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V3	V2	V2	V2

Nota: La tabla muestra los colores de hoja de la C3 por cada repetición a lo largo de las 14 semanas.

Interpretación de la tabla de colores

R1: Se observa la coloración de las hojas desde la semana 2 hasta la semana 9 una predominancia de color V3, luego una tonalidad más oscura en la semana 10, y finalmente se observa la predominancia del color V3 desde la semana 11 hasta la semana 14.

R2: Se observa la predominancia y mantenimiento del color V3 desde la semana 3 hasta la semana 14.

R3: Se observa la predominancia y mantenimiento del color V3 desde la semana 2 hasta la semana 11, luego se ve el cambio a una tonalidad más baja desde la semana 12 hasta la semana 14 al color V2.

R4: Se observa la predominancia del color V3 a lo largo de las semanas 2 hasta la semana 8, luego se ve un cambio en la tonalidad en la semana 9 y 10 al color V4, y finalmente desde la semana 12 hasta la semana 14 se observa una tonalidad más baja de V2.

5.1.6. Variación de pH

Tabla 29

Variación de pH por cada repetición

Concentración	Repeticiones	pH													
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	R1	6.30	6.40	6.50	6.50	6.40	6.50	6.60	6.40	6.50	6.70	6.70	6.90	6.80	7.20
	R2	6.20	6.30	6.40	6.50	6.50	6.50	6.40	6.60	6.50	6.70	6.70	6.80	6.70	6.80
	R3	6.30	6.40	6.40	6.50	6.40	6.50	6.30	6.50	6.40	6.4	6.40	6.70	7.00	7.10
	R4	6.30	6.40	6.30	6.40	6.40	6.50	6.30	6.50	6.60	6.50	6.70	6.90	6.80	6.90
C2: 20%	R1	5.70	5.90	5.90	6.00	5.90	5.90	6.10	6.00	6.30	6.00	6.10	6.40	6.20	6.50
	R2	5.80	5.80	6.00	6.10	6.10	6.00	6.10	5.90	6.00	6.20	6.30	6.20	6.50	6.70
	R3	5.70	6.00	5.90	6.20	6.10	6.10	6.00	6.00	5.90	6.10	6.00	6.00	6.20	6.20
	R4	5.60	5.90	5.90	6.00	6.10	6.00	6.00	6.10	6.10	5.90	5.90	6.30	6.30	6.50
C3: 30%	R1	5.30	5.50	5.60	5.70	5.70	5.70	5.80	5.60	5.60	5.80	5.60	5.70	5.90	6.30
	R2	5.40	5.60	5.50	5.70	5.60	5.70	5.60	5.50	5.70	5.70	5.60	5.80	6.20	6.50
	R3	5.30	5.40	5.50	5.70	5.80	5.60	5.60	5.70	5.60	5.60	5.90	5.70	5.80	5.80
	R4	5.40	5.60	5.70	5.80	5.70	5.80	5.70	5.70	5.40	5.60	5.80	5.80	6.10	6.40

Nota: La tabla muestra los valores de pH por cada concentración y repetición a lo largo de las 14 semanas.

Se muestran los datos en la siguiente Tabla 27 de variación de pH promedio semanal de acuerdo a cada repetición según sus respectivas concentraciones.

De acuerdo a los datos de la tabla 29, para C1 se observa que los valores de pH inician con un rango entre 6.2 y 6.3, y al término del periodo de las catorce semanas, en general, estos valores se incrementan hasta llegar a un rango entre 6.8, 7.2; para C2 se observa que los valores de pH inician con un rango entre 5.6 y 5.8, y al término del periodo de las catorce semanas, en general, estos valores se incrementan hasta llegar a un rango entre 6.2, 6.7; para C3 se observa que los valores de pH inician con un rango entre 5.3 y 5.4, y al término del periodo de las catorce semanas, en general, estos valores se incrementan hasta llegar a un rango entre 5.8 y 6.4. En general en las concentraciones C1, C2 y C3 los valores de pH tienen un comportamiento creciente, así mismo, se observa una relación inversa entre la concentración del contaminante y los valores de pH, es decir a mayor concentración de suelo contaminado por relave, menor resultado el pH.

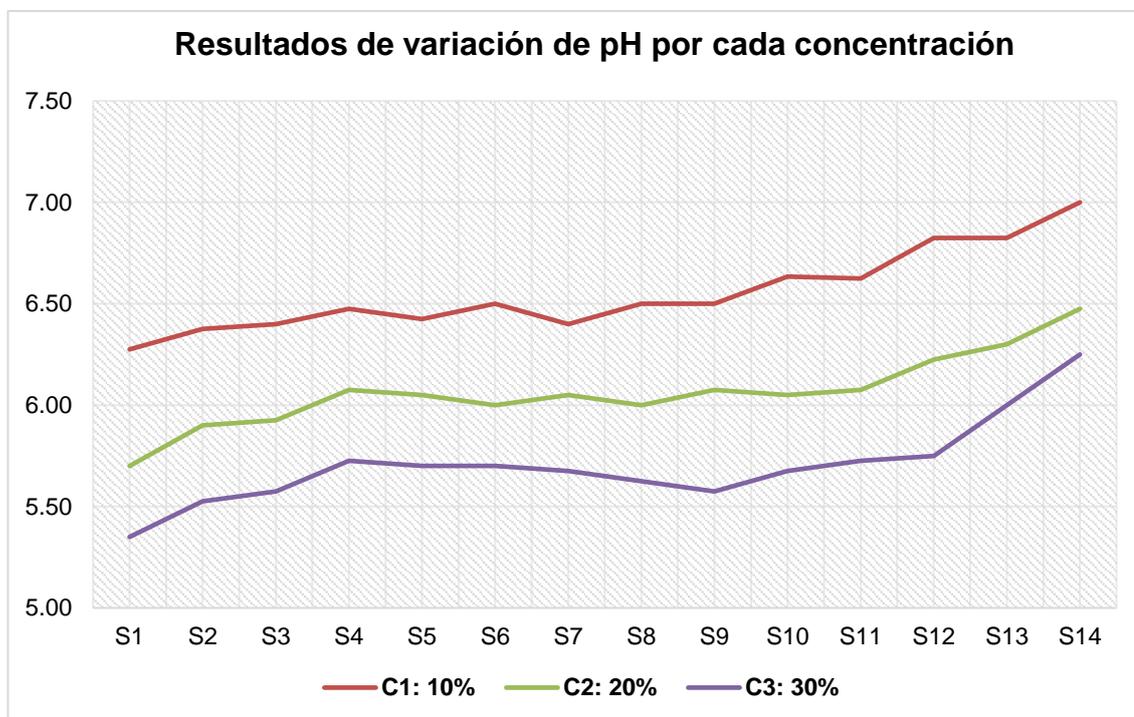
Tabla 30*Media de variación de pH por cada concentración*

Concentraciones	Promedio de pH por concentración													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
C1: 10%	6.28	6.38	6.40	6.48	6.43	6.50	6.40	6.50	6.50	6.63	6.63	6.83	6.83	7.00
C2: 20%	5.70	5.90	5.93	6.08	6.05	6.00	6.05	6.00	6.08	6.05	6.08	6.23	6.30	6.48
C3: 30%	5.35	5.53	5.58	5.73	5.70	5.70	5.68	5.63	5.58	5.68	5.73	5.75	6.00	6.25

Nota: La tabla muestra los valores promedio de pH por cada concentración.

Figura 21

Resultados de variación promedio de pH por cada concentración



Nota: Representación gráfica de resultados de variación de pH por cada concentración durante las 14 semanas.

De acuerdo a la figura 21, se observa que los valores de pH van aumentando a lo largo del periodo de las catorce semanas tanto para C1, C2 y C3, sin embargo, durante dicho periodo, se presentó ligeras disminuciones de los valores del pH en las tres concentraciones, para C1 entre las semanas 4 - 5, y semanas 6 - 7; para C2 entre las semanas 4 - 6, y semanas 7 - 8; para C3 entre las semanas 4 - 9, la cual pudo deberse a diferentes factores como, por ejemplo, a una toma de muestra en zonas donde el suelo presentaba mayor concentración de contaminantes, influyendo así en el valor de pH.

5.1.7. Remoción del plomo

La concentración del plomo se determinó en dos momentos diferentes del experimento, al inicio y después de cien días, para cada uno de los suelos contaminados al 10%, 20% y 30% por relave minero.

Tabla 31

Resultado de las concentraciones inicial y final de plomo

Concentración	Repetición	plomo (mg/kg)		Remoción	% Remoción (CI – CF)*100%/C1
		Sin tratamiento	Con tratamiento		
C1 (10%)	C1R1	2679.07	2280.08	398.99	14.89
	C1R2	2679.07	2414.05	265.02	9.89
	C1R3	2679.07	2440.05	239.02	8.92
	C1R4	2679.07	2429.17	249.90	9.33
C2 (20%)	C2R1	5204.00	4901.00	303.00	5.82
	C2R2	5204.00	4923.92	280.08	5.38
	C2R3	5204.00	5042.25	161.75	3.11
	C2R4	5204.00	4965.28	238.72	4.59
C3 (30%)	C3R1	7786.89	7257.48	529.41	6.80
	C3R2	7786.89	7326.15	460.74	5.92
	C3R3	7786.89	7433.31	353.58	4.54
	C3R4	7786.89	7418.74	368.15	4.73

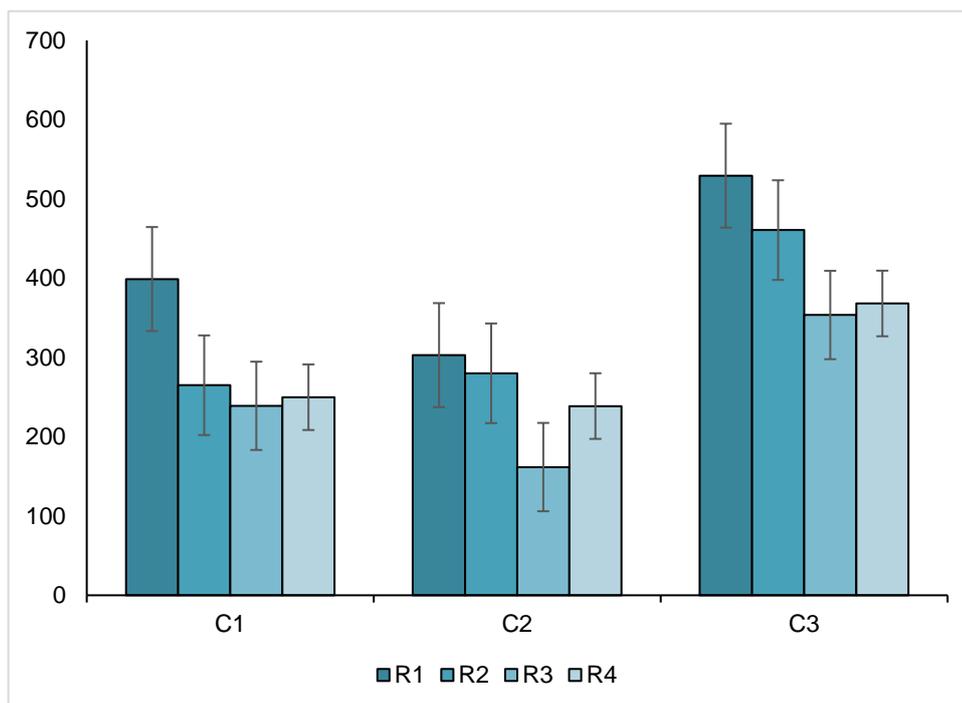
Nota: La tabla muestra los valores de concentración inicial y final de plomo, así como la remoción total.

De acuerdo a la tabla 31, se muestra la concentración inicial y final de plomo (mg/kg) de cada repetición, así mismo, la remoción de plomo se obtiene con la resta de la concentración inicial y final, también se muestra el porcentaje de

remoción la cual se obtuvo mediante la formula: $\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$,
donde C_i es la concentración inicial y C_f la concentración final de plomo.

Figura 22

Remoción del plomo por cada concentración



Nota: Representación gráfica de los resultados de la remoción del plomo por cada concentración, de acuerdo a los valores de la remoción de la tabla 31

De acuerdo a la figura 22, se observa que hubo remoción de plomo en todas las repeticiones de cada concentración; en C1 se obtuvo mayor remoción en R1 con un valor de 398.99 mg/kg y una menor remoción en R3 con un valor de 239.02 mg/kg; en C2 se obtuvo una mayor remoción en R1 con un valor de 303.00 mg/kg, y una menor remoción en R3 con un valor de 161.75 mg/kg; mientras C3 obtuvo mayor valor en la remoción plomo en R1 y R2 en comparación con los valores de C1 y C2, y una menor remoción en R3 con un valor de 353.58 mg/kg.

En general para todas las concentraciones, en R1 hubo una mayor remoción de plomo, mientras que en R3 se hubo menor remoción.

Tabla 32

Promedio de las concentraciones inicial y final de plomo

Concentración	plomo (mg/kg)		Remoción
	Inicial	Final	
C1 (10%)	2679.07	2390.84	288.23
C2 (20%)	5204.00	4958.11	245.89
C3 (30%)	7786.89	7358.92	427.97

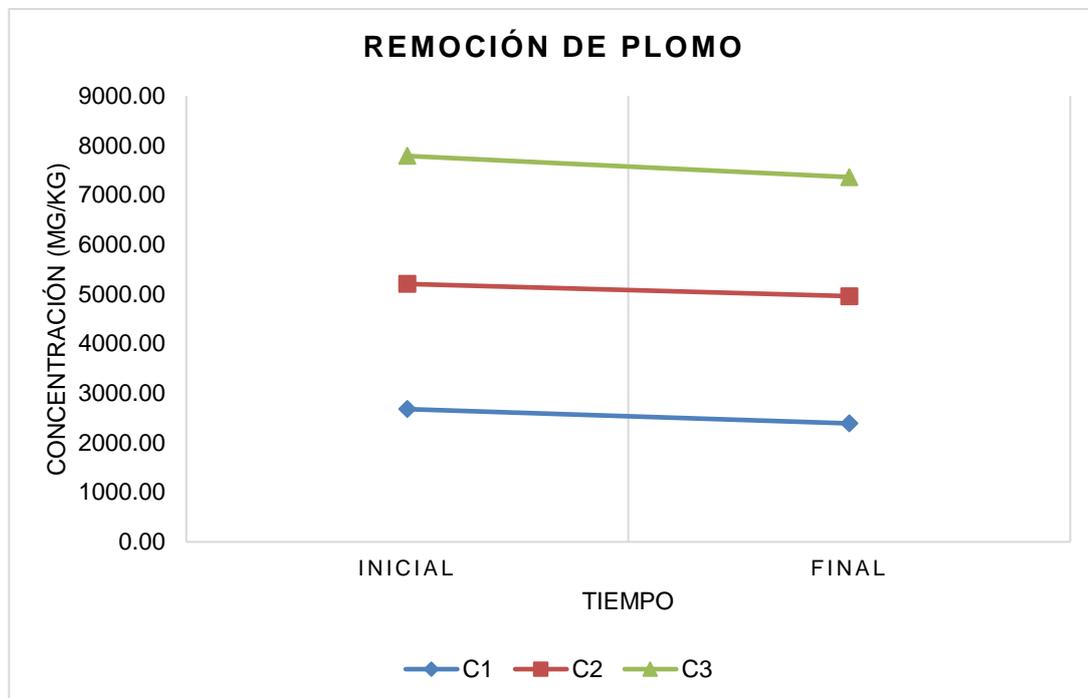
Nota: La tabla muestra los valores de concentración promedio inicial y final de plomo, así como la remoción total.

Interpretación

En la tabla 32 se observa la concentración promedio inicial y final de plomo para todas las concentraciones. En la concentración del C1 se observa una disminución promedio de 2679.07 mg/kg a 2390.84 mg/kg; en la concentración C2 una disminución promedio de 5204.00 mg/kg a 4958.11 mg/kg y por último en la concentración del C3 una disminución promedio de 7786.89 mg/kg a 7358.92 mg/kg. Así mismo, se muestra la remoción la cual se calculó restando la concentración inicial y final.

Figura 23

Remoción promedio del plomo de las cuatro repeticiones



Nota: Representación gráfica de remoción de plomo promedio de las cuatro repeticiones R1, R2, R3 y R4 por cada concentración C1, C2 y C3.

De acuerdo a la figura 23, se muestra el promedio de cada concentración (C1, C2 y C3), evaluados en dos momentos (inicial y final) durante un periodo de catorce semanas, la línea es decreciente, la cual indica una disminución de la concentración de plomo durante dicho periodo de tiempo.

Tabla 33*Estadísticos descriptivos de la remoción del plomo*

		Descriptivos					
		REMOCIÓN PB					
		CONCENTRACIÓN					
		C1		C2		C3	
		Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.
Media		288,2325	37,30203	245,8875	31,03957	427,9700	41,30804
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	169,5208		147,1057		296,5094	
	Límite superior	406,9442		344,6693		559,4306	
Media recortada al 5%		284,8133		247,3889		426,4672	
Mediana		257,4600		259,4000		414,4450	
Varianza		5565,765		3853,819		6825,417	
Desv. típ.		74,60405		62,07913		82,61608	
Mínimo		239,02		161,75		353,58	
Máximo		398,99		303,00		529,41	
Rango		159,97		141,25		175,83	
Amplitud intercuartil		123,76		116,28		155,02	
Asimetría		1,880	1,014	-1,030	1,014	,536	1,014
Curtosis		3,588	2,619	,443	2,619	-2,734	2,619

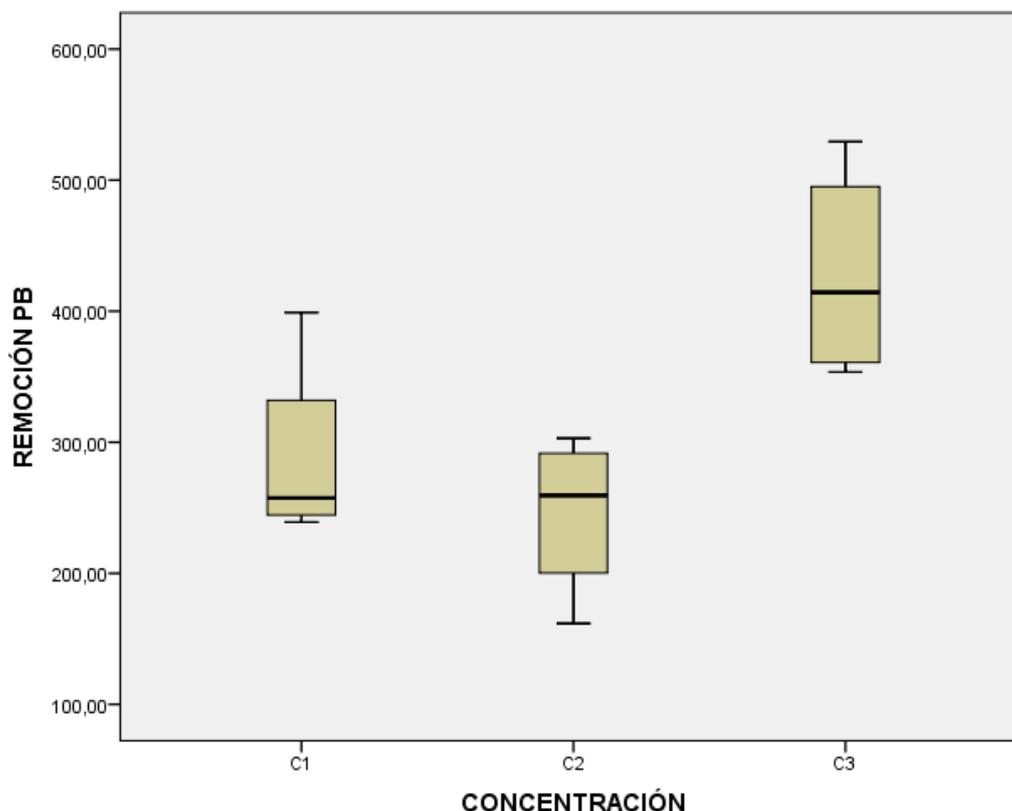
Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de la remoción de plomo. Software SPSS.

En la tabla 33, se muestra los resultados estadísticos descriptivos de la remoción del plomo de cada concentración, que sirven para describir y analizar los datos de las repeticiones para extraer las características más representativas.

Entre las que destacan, la media que significa el promedio de las 4 repeticiones de cada concentración resulto mayor en C3 con 427,97 mg/kg, seguido de C1 con 288,23 mg/kg y por último C2 con 245,89 mg/kg. Para la varianza que representa la dispersión de datos de las 4 repeticiones alrededor de su media, resulto mayor en C3 con 6825,42 seguido de C1 con 5566,77 y por último C2 con 3853,819. Finalmente, tenemos a la desviación típica que es la raíz cuadrada de la varianza, resulto mayor en C3 con 82,61, seguido de C1 con 74,60 y por último C2 con 62, 08. Estas dos últimas medidas de dispersión indica que en C3, las repeticiones están más dispersas a su media en comparación de C2 donde las repeticiones están más agrupadas cerca de su media.

Figura 24

Diagrama de caja con bigotes de la remoción



Nota: Se representa en diagrama de caja con bigotes la remoción de plomo. Software SPSS.

De acuerdo a la figura 24, se puede visualizar gráficamente los valores de las medianas de la remoción de plomo por cada concentración C1, C2 y C3, siendo los extremos de las cajas los valores máximos y mínimos y, la altura de la caja representando la diferencia entre la dispersión de esos valores. La línea negra horizontal dentro de la caja expresa la mediana de los valores de la remoción, los extremos superior e inferior representan el máximo y mínimo valor de remoción de las cuatro repeticiones de acuerdo a cada concentración.

5.1.8. Remoción del cadmio

La concentración del cadmio se determinó en dos momentos diferentes del experimento, al inicio y después de cien días, para cada uno de los suelos contaminados al 10%, 20% y 30% por relave minero.

Tabla 34

Resultado de las concentraciones inicial y final de cadmio

Concentración	Repetición	Cadmio (mg/kg)			%
		Inicial	Final	Remoción	Remoción (CI – CF)*100%/C1
C1 (10%)	C1R1	6.00	5.38	0.62	10.33
	C1R2	6.00	5.37	0.63	10.50
	C1R3	6.00	5.20	0.80	13.33
	C1R4	6.00	5.39	0.61	10.17
C2 (20%)	C2R1	12.00	10.48	1.52	12.67
	C2R2	12.00	10.98	1.02	8.50
	C2R3	12.00	10.16	1.84	15.33
	C2R4	12.00	10.97	1.03	8.58
C3 (30%)	C3R1	15.99	15.16	0.83	5.19
	C3R2	15.99	14.97	1.02	6.38
	C3R3	15.99	16.17	-0.18	-1.13
	C3R4	15.99	16.28	-0.29	-1.81

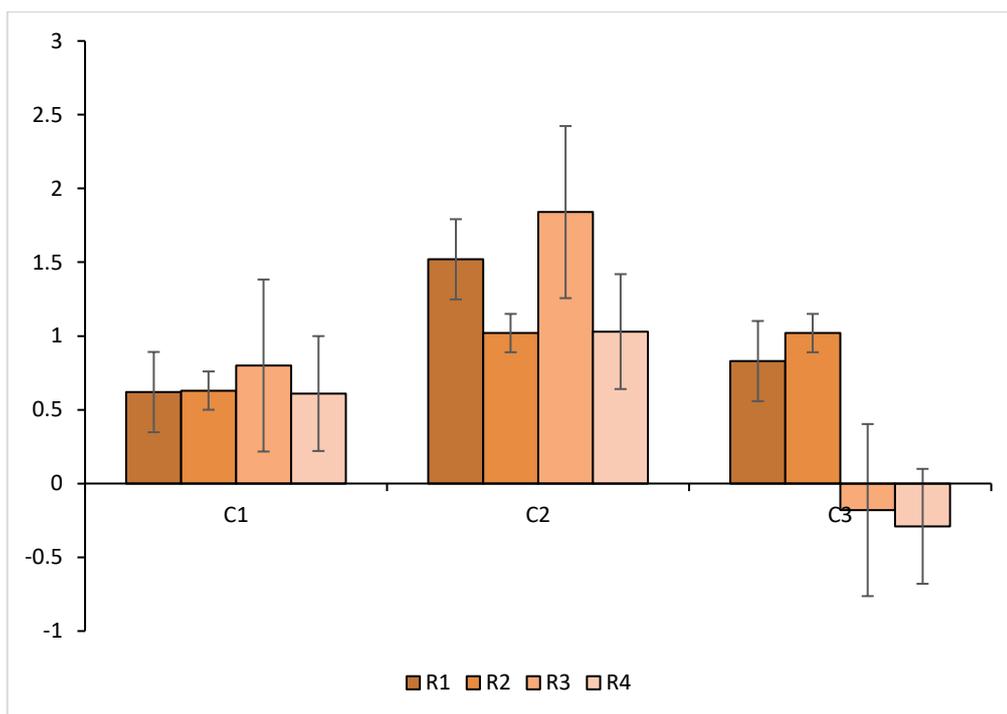
Nota: La tabla muestra los valores de concentración inicial y final de cadmio, así como la remoción total.

De acuerdo a la tabla 34, se muestra la concentración inicial y final de cadmio (mg/kg) de cada repetición, así mismo, la remoción de cadmio se obtiene con la

resta de la concentración inicial y final, también se muestra el porcentaje de remoción la cual se obtuvo mediante la fórmula: $\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$, donde C_i es la concentración inicial y C_f la concentración final de cadmio.

Figura 25

Concentraciones inicial y final de cadmio



Nota: Representación gráfica de resultados de concentración inicial y final de cadmio por cada concentración.

De acuerdo a la figura 25, se observa que hubo remoción de cadmio en todas las repeticiones de cada concentración; en C1 se obtuvo mayor remoción en R3 con un valor de 0.80 mg/kg y una menor remoción en R4 con un valor de 0.61 mg/kg; en C2 se obtuvo una mayor remoción en R3 con un valor de 1.84 mg/kg, y una menor remoción en R2 con un valor de 1.02 mg/kg; mientras C3 obtuvo remoción en R1 con un valor de 1.02 mg/kg, y en R2 con un valor de 0.83 mg/kg,

R3 y R4, registran valores negativos, es decir, al término de las catorce semanas la concentración de cadmio incrementó en estas repeticiones, por tanto, se consideró como dato erróneo.

Tabla 35

Remoción promedio del cadmio de las cuatro repeticiones

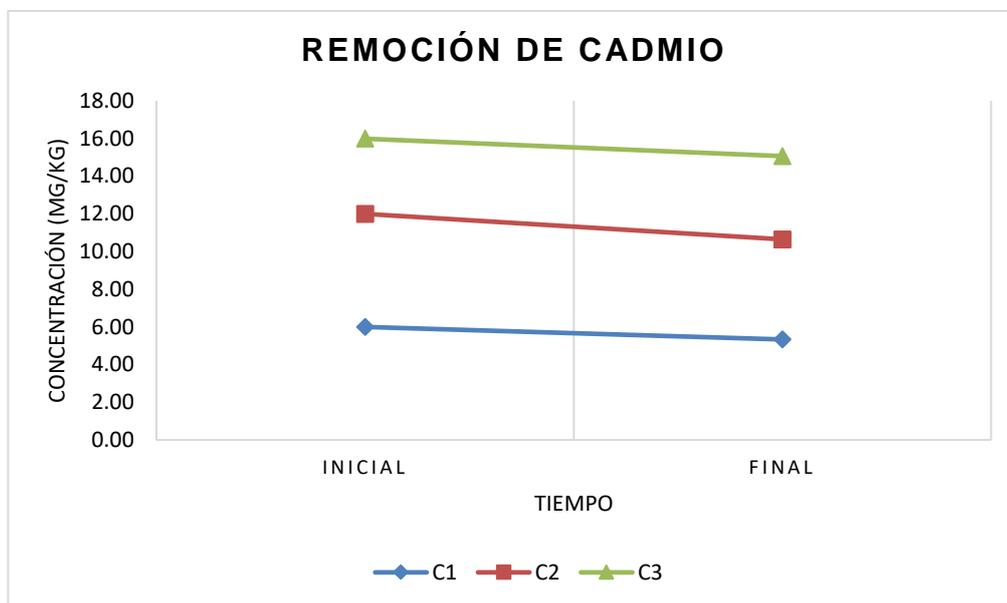
Concentración	cadmio (mg/kg)		Remoción (mg/kg)
	Inicial (mg/kg)	Final (mg/kg)	
C1 (10%)	6.00	5.34	0.67
C2 (20%)	12.00	10.65	1.35
C3 (30%)	15.99	15.65	0.34

Nota: La tabla muestra los valores promedio de concentración inicial y final de cadmio, así como la remoción total.

En la tabla 35 se observa la concentración promedio inicial y final de cadmio para todas las concentraciones. En la concentración del C1 se observa una disminución promedio de 6.00 mg/kg a 5.34 mg/kg; en la concentración C2 una disminución promedio de 12.00 mg/kg a 10.65 mg/kg y por último en la concentración del C3 una disminución promedio de 15.99 mg/kg a 15.65 mg/kg. Así mismo, se muestra la remoción la cual se calculó restando la concentración inicial y final.

Figura 26

Remoción de concentración del cadmio – Inicial y final



Nota: Representación gráfica de remoción de cadmio promedio de las cuatro repeticiones R1, R2, R3 y R4 por cada concentración C1, C2 y C3.

De acuerdo a la figura 26, se muestra el promedio de cada concentración (C1, C2 y C3), evaluados en dos momentos (inicial y final) durante un periodo de catorce semanas; las líneas son decrecientes, la cual indica una disminución en la concentración de plomo durante dicho periodo de tiempo.

Tabla 36

Estadísticos descriptivos de la remoción del cadmio

		Descriptivos					
		REMOCIÓN_CD					
		CONCENTRACIÓN					
		C1		C2		C3	
		Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.	Estadístico	Error típ.
Media		,6650	,04518	1,3525	,20006	,3450	,33785
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	,5212		,7158		-,7302	
	Límite superior	,8088		1,9892		1,4202	
Media recortada al 5%		,6606		1,3439		,3428	
Mediana		,6250		1,2750		,3250	
Varianza		,008		,160		,457	
Dev. típ.		,09037		,40011		,67570	
Mínimo		,61		1,02		-,29	
Máximo		,80		1,84		1,02	
Rango		,19		,82		1,31	
Amplitud intercuartil		,15		,74		1,24	
Asimetría		1,951	1,014	,523	1,014	,045	1,014
Curstosis		3,838	2,619	-3,055	2,619	-5,481	2,619

Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de la remoción de cadmio. Software SPSS.

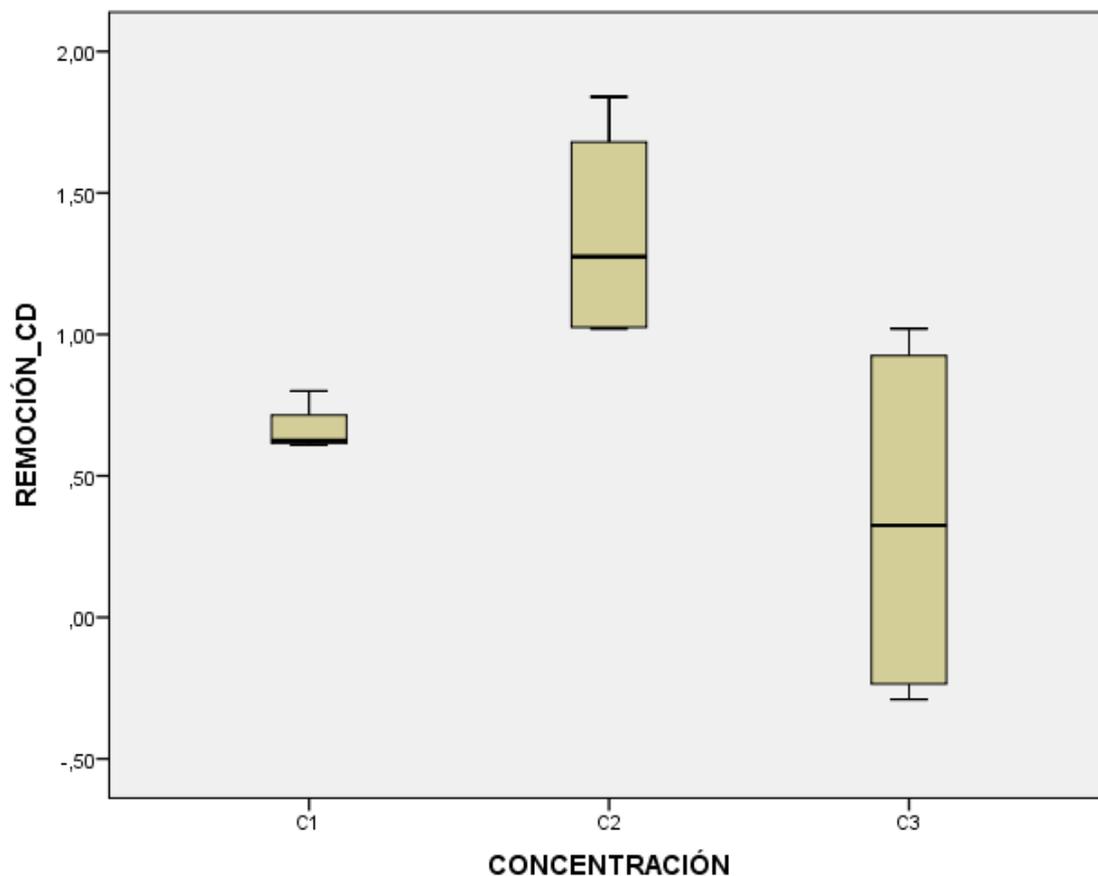
En la tabla 36, se muestran los resultados estadísticos descriptivos de la remoción de cadmio de cada concentración que sirven para describir y analizar los datos de las repeticiones para extraer las características más representativas.

Entre las que destacan, la media que significa el promedio de las 4 repeticiones de cada concentración resulto mayor en C2 con 1,35 mg/kg, seguido de C1 con 0,67 mg/kg y por último C3 con 0,34 mg/kg. Para la varianza que representa la dispersión de datos de las 4 repeticiones alrededor de su media, resulto mayor en C3 con 0,457 seguido de C2 con 0,160 y por último C1 con 0,008. Finalmente, tenemos a la desviación típica que es la raíz cuadrada de la varianza, resulto mayor en C3 con 0,68, seguido de C2 con 0,40 y por último C1 con 0,09. Estas dos últimas medidas de dispersión indica que en C3, las repeticiones están más

dispersas a su media en comparación de C1 donde las repeticiones están más agrupadas cerca de su media.

Figura 27

Diagrama de caja con bigotes de la remoción del cadmio



Nota: Se representa en diagrama de caja con bigotes la remoción de cadmio. Software SPSS.

De acuerdo a la figura 27, se puede visualizar gráficamente los valores de las medianas de la remoción de camio por cada concentración C1, C2 y C3, siendo los extremos de las cajas los valores máximos y mínimos y, la altura de la caja representando la diferencia entre la dispersión de esos valores. La línea negra horizontal dentro de la caja expresa la mediana de los valores de la remoción,

los extremos superior e inferior representan el máximo y mínimo valor de remoción de las cuatro repeticiones de acuerdo a cada concentración.

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1. Resultados de la remoción del plomo y el cadmio

Hipótesis general

La fitorremediación con *Zea mays* remueve el plomo y cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

Hipótesis específica 1

H_0 : La fitorremediación con *Zea mays* no removerá el plomo del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

H_1 : La fitorremediación con *Zea mays* removerá el plomo del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

A. Hipótesis estadística

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$



Contraste de Hipótesis
Unilateral

Donde:

μ_1 : Promedio de las concentraciones de Pb antes del tratamiento con *Zea mays*.

μ_2 : Promedio de las concentraciones de Pb después del tratamiento con *Zea mays*.

B. Nivel de significancia

El nivel de confiabilidad de la investigación es del 95%; por lo tanto, el nivel de significancia es del 5% ($\alpha=0.05$).

C. Elección de la prueba estadística

La elección de la prueba estadística es la Prueba T-Student para muestras relacionadas porque se requieren comparar dos medias en relación a la variable dependiente remoción de plomo realizadas sobre las mismas unidades experimentales en momentos distintos de tiempo, antes y después del tratamiento con *Zea mays*.

D. Prueba de normalidad

El supuesto principal para la aplicación de la prueba T-Student es que la variable dependiente debe seguir una distribución normal. Para comprobarlo se deberá utilizar la prueba Kolmogorov-Smirnov para muestras mayores a 30 individuos o la prueba de Shapiro-Wilk para muestras menores e iguales a 30 individuos. Para saber si la variable en estudio se distribuye normalmente, se deberá hallar el p-valor:

- *Si $p\text{-valor} \geq \alpha$, los datos provienen de una distribución normal*
- *Si $p\text{-valor} < \alpha$, los datos No provienen de una distribución normal*

Como tenemos 4 datos menores a 30, hacemos uso de SHAPIRO-WILK para la prueba de normalidad.

Tabla 37*Prueba de normalidad – remoción del plomo*

CONCENTRACIÓN		Pruebas de normalidad			Pruebas de normalidad		
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
REMOCIÓN PB	C1	,372	4	.	,757	4	,045
	C2	,209	4	.	,935	4	,622
	C3	,265	4	.	,907	4	,464

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Nota: La tabla muestra los resultados de la prueba de normalidad de la remoción de plomo. Software SPSS.

En la tabla 37, de la prueba de Shapiro-Wilk se observa que para la remoción de la concentración C1 el p-valor es (0,045) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que los datos no provienen de una distribución normal y para la remoción de la concentración C2 el p-valor (0,622) es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que los datos provienen de una distribución normal; por último, para la remoción de la concentración C3 el p-valor (0,464) es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que los datos provienen de una distribución normal.

E. Estadístico de prueba**Prueba T-Student para muestras relacionadas**

Para realizar la prueba de hipótesis se utilizó la prueba "t". El estadístico "t", queda establecido como Prueba "t" para dos muestras relacionadas, con distribución normal para las concentraciones 2 y 3.

Cabe resaltar que el programa SPSS siempre calcula el p-valor para un contraste bilateral. En nuestro caso, según la hipótesis estadística planteada es de contraste unilateral por lo tanto el valor de Sig. (bilateral) se dividirán entre dos.

Tabla 38

Prueba t-Student para muestras relacionadas de la remoción del plomo para C2 y C3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	ANTES C1_PB - DESPUÉS C1_PB	288,23250	74,60405	37,30203	169,52080	406,94420	7,727	3	,005
Par 2	ANTES C2_PB - DESPUÉS C2_PB	245,88750	62,07913	31,03957	147,10574	344,66926	7,922	3	,004
Par 3	ANTES C3_PB - DESPUÉS C3_PB	427,97000	82,61608	41,30804	296,50938	559,43062	10,360	3	,002

Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de la prueba t-Student para muestras relacionadas de la remoción del plomo. Software SPSS.

En la tabla 38 de la prueba t - Student para muestras relacionadas de la remoción del plomo para C2 y C3, se observa que para la remoción de la concentración C2:20% el p-valor (0,004) dividido entre dos (0,002) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) por lo que se concluye el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, lo mismo ocurre para la remoción de la concentración C3:30% donde el p-valor (0,002) dividido entre dos (0,001) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) por lo que se concluye también el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

Prueba Wilcoxon

Dado que para la remoción de la concentración 1 no cumple con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar los dos grupos antes y después del tratamiento con *Zea mays*.

Tabla 39

Estadísticos de contraste para la remoción del plomo de C1

Estadísticos de contraste ^a	
	DESPUÉS C1_PB - ANTES C1_PB
Z	-1,826 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,068

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos.

Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de contraste referente a la remoción del plomo. Software SPSS.

En la tabla 39 del estadístico de contraste para la remoción de plomo de C1, se observa que el p-valor (0,068) dividido entre dos (0,034) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) por lo que se concluye que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

F. Decisión estadística

El criterio para decidir es:

- Si $p\text{-valor} \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

- Si p-valor > α , no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1)

Tabla 40*Criterio para decidir la Hipótesis*

Criterio para decidir			
P-VALOR (ANTÉS C1 - DESPUÉS C1) =0.034	<	$\alpha=0.05$	Se rechaza la hipótesis nula
P-VALOR (ANTÉS C2 - DESPUÉS C2) =0.002	<	$\alpha=0.05$	Se rechaza la hipótesis nula
P-VALOR (ANTÉS C3 - DESPUÉS C3) =0.001	<	$\alpha=0.05$	Se rechaza la hipótesis nula

Nota: La tabla muestra el criterio para decidir la hipótesis nula o alterna.

Hipótesis específica 2

H_0 : La fitorremediación con *Zea mays* no removerá el cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

H_1 : La fitorremediación con *Zea mays* removerá el cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

A. Hipótesis estadística

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

Donde:

μ_1 : Promedio de las concentraciones de Cd antes del tratamiento con *Zea mays*

μ_2 : Promedio de las concentraciones de Cd después del tratamiento con *Zea mays*.

B. Nivel de significancia

El nivel de confiabilidad de la investigación es del 95%; por lo tanto, el nivel de significancia es del 5% ($\alpha=0.05$).

C. Elección de la prueba

La elección de la prueba estadística es la Prueba T-Student para muestras relacionadas porque se requieren comparar dos medias en relación a la variable concentraciones de Cd realizadas sobre las mismas unidades experimentales en momentos distintos de tiempo, antes y después del tratamiento con *Zea mays*.

D. Prueba de normalidad

Como tenemos 4 datos menores a 30, hacemos uso de SHAPIRO-WILK para la prueba de normalidad.

Tabla 41

Pruebas de normalidad – remoción de cadmio

CONCENTRACIÓN		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
REMOCIÓN_CD	C1	,401	4	.	,714	4	,017
	C2	,290	4	.	,866	4	,284
	C3	,281	4	.	,833	4	,176

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Nota: La tabla muestra los valores arrojados para la prueba de normalidad del cadmio. Software SPSS.

En la tabla 41, de la prueba de Shapiro-Wilk se observa que para la remoción de la concentración C1 el p-valor (0,017) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$);

por lo tanto, se concluye que los datos no provienen de una distribución normal y para la remoción de la concentración C2 el p-valor (0,284) es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que los datos provienen de una distribución normal; por último, para la remoción de la concentración C3 el p-valor (0,176) es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que los datos provienen de una distribución normal.

E. Estadístico de prueba

Prueba T-Student para muestras relacionadas

Para realizar la prueba de hipótesis se utilizó la prueba “t”. El estadístico “t”, queda establecido como Prueba “t” para dos muestras relacionadas, con distribución normal para las concentraciones 2 y 3.

Cabe resaltar que el programa SPSS siempre calcula el p-valor para un contraste bilateral. En nuestro caso, según la hipótesis estadística planteada es de contraste unilateral por lo tanto el valor de Sig. (bilateral) se dividirán entre dos.

Tabla 42

Prueba T-Student para muestras relacionadas de la remoción de cadmio para C2 y C3

		Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	ANTES C1_CD - DESPUÉS C1_CD	,66500	,09037	,04518	,52120	,80880	14,717	3	,001
Par 2	ANTES C2_CD - DESPUÉS C2_CD	1,35250	,40011	,20006	,71583	1,98917	6,761	3	,007
Par 3	ANTES C3_CD - DESPUÉS C3_CD	,34500	,67570	,33785	-,73018	1,42018	1,021	3	,382

Nota: La tabla muestra los valores de la Prueba T-Student respecto al cadmio. Software SPSS.

En la tabla 42 de la prueba t - Student para muestras relacionadas de la remoción del cadmio para C2 y C3, se observa que para la remoción de la concentración

C2:20% el p-valor (0,007) dividido entre dos (0,0035) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) por lo que se concluye el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de alterna y para la remoción de la concentración C3:30% donde el p-valor (0,382) dividido entre dos (0,191) es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

Prueba Wilcoxon

Dado que para la remoción de la concentración 1 no cumple con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para comparar los dos grupos antes y después del tratamiento.

Tabla 43

Estadísticos de contraste

Estadísticos de contraste^a	
	DESPUÉS C1_CD - ANTES C1_CD
Z	-1,826 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,068

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos positivos.

Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de contraste referente al cadmio. Software SPSS.

En la tabla 43 del estadístico de contraste para la remoción de cadmio de C1, se observa que el p-valor (0,68) dividido entre dos (0,34) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

F. Decisión estadística

El criterio para decir es:

- Si $p\text{-valor} \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1)
- Si $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1)

Tabla 44

Criterio para decidir la Hipótesis

Criterio para decidir			
P-VALOR (ANTÉS C1 - DESPUÉS C1) =0.034	<	$\alpha=0.05$	Se rechaza la hipótesis nula
P-VALOR (ANTÉS C2 - DESPUÉS C2) =0.035	<	$\alpha=0.05$	Se rechaza la hipótesis nula
P-VALOR (ANTÉS C3 - DESPUÉS C3) =0.191	>	$\alpha=0.05$	No se rechaza la hipótesis nula

Nota: La tabla muestra los valores arrojados para el criterio para decidir la hipótesis.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Contrastación y demostración de la hipótesis específica 1:

Resultados de la remoción del plomo

- Al analizar las concentraciones C1, C2 y C3 al finalizar el periodo de 14 semanas, tiempo que duró la investigación, se evidenció una disminución promedio de plomo para C1 en 288.23 mg/kg, para C2 una disminución promedio de plomo en 245.89 mg/kg y para C3 una disminución promedio de plomo en 427.97 mg/kg, evidenciándose una remoción de plomo para las 3 concentraciones, lo cual se verifica de

manera estadística en la tabla 40 de la prueba T-Student donde se observó que para la concentración C1 el p-valor (0,034) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo que, se concluye que hay una diferencia significativa en las medias de las concentraciones C1 antes y después del tratamiento, lo mismo ocurre para la concentración C2 donde el p-valor (0,002) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo tanto, se concluye que hay una diferencia significativa en las medias de las concentraciones C2 antes y después del tratamiento; asimismo, para la concentración C3 el p-valor (0,001) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) concluyendo que hay una diferencia significativa en las medias de concentraciones C3 antes y después del tratamiento. Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna al 95% de confianza, lo cual expresa que hubo una remoción significativa del plomo del suelo contaminado al 10%, 20 % y 30% por el relave minero de la Planta Concentradora UNI. De esta manera se demuestra que la fitorremediación con *Zea mays* remueve el plomo del suelo contaminado por el relave minero de la planta concentradora UNI.

6.1.2. Contrastación y demostración de la hipótesis específica 2:

Resultados de la remoción del Cadmio

- Al analizar las concentraciones C1, C2 y C3 al finalizar el periodo de 14 semanas, tiempo que duró la investigación, se evidenció una disminución promedio de cadmio para C1 en 0.67 ppm, para C2 una disminución promedio de cadmio en 1.35 ppm y para C3 una disminución promedio de cadmio en 0.34 ppm (considerándose que de

los cuatro valores obtenidos en el análisis de laboratorio dos de ellos arrojaron valores negativos), evidenciándose una remoción de cadmio para las 3 concentraciones, lo cual se verifica de manera estadística en la tabla 44 de la prueba T-Student donde se observó que para la concentración (C1) el p-valor (0,034) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo que, se concluye que hay una diferencia significativa en las medias de las concentraciones C1 antes y después del tratamiento y para la concentración (C2) el p-valor (0,0035) es menor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) concluyendo que hay una diferencia significativa en las medias de las concentraciones C2 antes y después del tratamiento. Por consiguiente, para las concentraciones C1 y C2 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna al 95% de confianza, lo cual expresa que hubo una remoción significativa del cadmio del suelo contaminado al 10%, 20 % y 30% por el relave minero de la Planta Concentradora UNI. De esta manera se demuestra que la fitorremediación con *Zea mays* remueve el cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la planta concentradora UNI.

- En cambio, para la concentración (C3) el p-valor (0,191) resulto mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$); por lo que, no se puede rechazar la hipótesis nula. En tal sentido, se concluye que no hubo remoción significativa del cadmio para la concentración C3 (30%). Se puede inferir que, debido a la mayor concentración del cadmio en el suelo, la

planta presento bajo desarrollo y no tuvo la capacidad suficiente para remover el cadmio del suelo.

6.1.3. Contrastación de los resultados con los indicadores

- **Tasa de germinación**

De acuerdo con el estudio la tasa de germinación promedio de las 4 repeticiones por cada concentración resultó: 100% C1, 91.67% C2 y 75% para C3.

El orden de la tasa de germinación del *Zea mays* según las concentraciones es:

$$C1 > C2 > C3$$

Esto indica una relación inversa, debido a que a mayor concentración de suelo contaminado por relave minero es menor la tasa de germinación.

- **Longitud de tallo**

De acuerdo con el estudio, el crecimiento del tallo promedio de las 4 repeticiones por cada concentración durante las 14 semanas resultó: C1 (21.375 cm), C2 (18.875 cm) y C3 (12.125 cm).

El orden de crecimiento del tallo según las concentraciones es:

$$C1 > C2 > C3$$

Esto indica una relación inversa, debido a que a mayor concentración de suelo contaminado por relave minero es menor la longitud del tallo.

Tabla 45

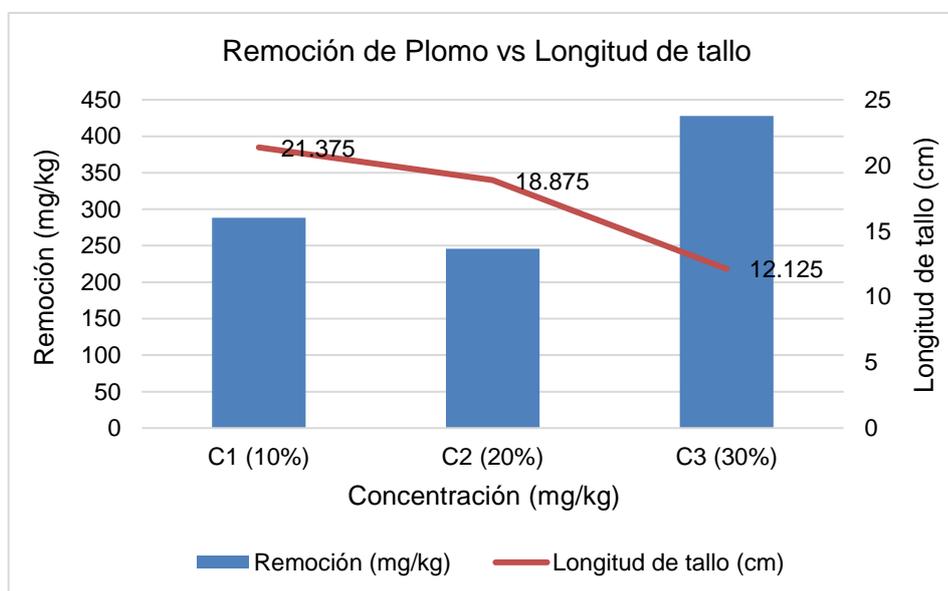
Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)

Concentración	Remoción PB mg/kg	Longitud de tallo (cm)
C1 (10%)	288.23	21.375
C2 (20%)	245.89	18.875
C3 (30%)	427.97	12.125

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de plomo (mg/kg) y el valor de longitud de tallo (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

Figura 28

Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)



Nota: La figura muestra la relación entre valores de remoción de plomo (mg/kg) y el valor de longitud de tallo (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 45, se observa que en C1 se registra una remoción de 288.23 mg/kg, un mayor crecimiento promedio de tallo, con una longitud de 21.375 cm, C2 registra una remoción de 245.89 mg/kg alcanzó una longitud promedio de 18.875 cm, mientras que C3 registra una remoción de 427.97 mg/kg, además alcanzó longitud promedio de tallo de 12.125 cm, la cual presentó un menor crecimiento de las tres concentraciones.

Tabla 46

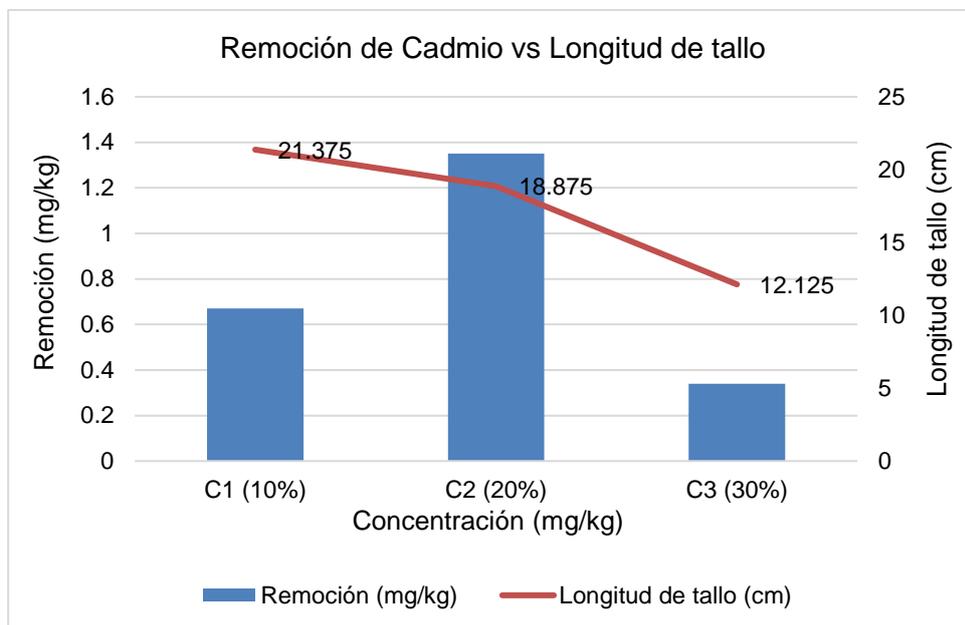
Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)

Concentración	Remoción Cd mg/kg	Longitud de tallo (cm)
C1 (10%)	0.67	21.375
C2 (20%)	1.35	18.875
C3 (30%)	0.34	12.125

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de cadmio (mg/kg) y el valor de longitud de tallo (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

Figura 29

Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de tallo (cm)



Nota: La tabla muestra la relación de la remoción de cadmio (mg/kg) y el valor de longitud de tallo (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 46, se observa que en C1 se registra una remoción de 0.67 mg/kg, un mayor crecimiento promedio de tallo, con una longitud de 21.375 cm, C2 registra una remoción de 1.35 mg/kg alcanzó una longitud promedio de 18.875 cm, mientras que C3 registra una remoción de 0.34 mg/kg, además alcanzó longitud promedio de tallo de 12.125 cm, la cual presentó un menor crecimiento de las tres concentraciones.

- **Longitud de hoja**

De acuerdo con el estudio, la longitud de hoja promedio de las 4 repeticiones por cada concentración durante las 14 semanas resultó: C1 (49.5 cm), C2 (48.5 cm) y C3 (35.75 cm).

El orden de crecimiento de la hoja según las concentraciones es:

$$C1 > C2 > C3$$

Esto indica una relación inversa, debido a que a mayor concentración de suelo contaminado por relave minero es menor la longitud de hoja.

Tabla 47

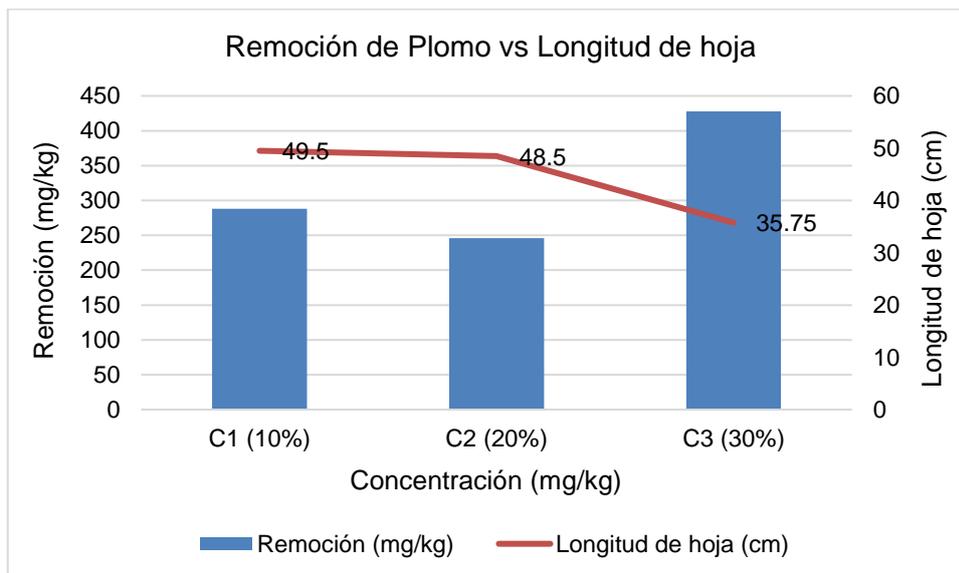
Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)

Concentración	Remoción PB mg/kg	Longitud de hoja (cm)
C1 (10%)	288.23	49.5
C2 (20%)	245.89	48.5
C3 (30%)	427.97	35.75

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de plomo (mg/kg) y el valor de longitud de hoja (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3). Elaboración propia.

Figura 30

Remoción de plomo (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)



Nota: La tabla muestra la relación de la remoción de plomo (mg/kg) y el valor de longitud de hoja (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 47, se observa que en C1 se registra una remoción de 288.23 mg/kg, además de mayor crecimiento promedio de longitud de hoja de 49.5 cm, C2 registra una remoción de 245.89 mg/kg alcanzó una longitud promedio de 48.5 cm, mientras que C3 registra una remoción de 427.97 mg/kg, además alcanzó longitud promedio de tallo de 35.75 cm, la cual presentó un menor crecimiento de las tres concentraciones.

Tabla 48

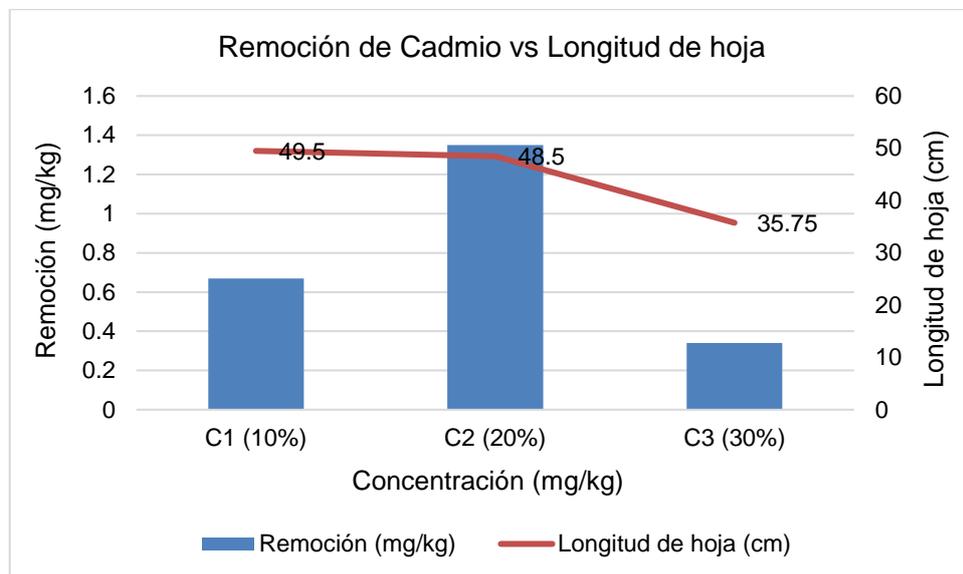
Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)

Concentración	Remoción Cd mg/kg	Longitud de hoja (cm)
C1 (10%)	0.67	49.5
C2 (20%)	1.35	48.5
C3 (30%)	0.34	35.75

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de cadmio (mg/kg) y el valor de longitud de hoja (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

Figura 31

Remoción de cadmio (mg/kg) vs longitud de hoja (cm)



Nota: La tabla muestra la relación de la remoción de cadmio (mg/kg) y el valor de longitud de hoja (cm) para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 48, se observa que en C1 se registra una remoción de 0.67 mg/kg, un mayor crecimiento promedio de longitud de hoja, con una longitud de 49.5 cm, C2 registra una remoción de 1.35 mg/kg alcanzó una longitud promedio de 48.5 cm, mientras que C3 registra una remoción de 0.34 mg/kg, además alcanzó longitud promedio de tallo de 35.75 cm, la cual presentó un menor crecimiento de las tres concentraciones.

- **Cantidad de hojas**

Se obtuvo los siguientes resultados durante las catorce semanas de acuerdo a la tabla 20 y 21.

C1: La cantidad de hojas se incrementó durante las 14 semanas, llegando en la semana 14 a un máximo de 9 hojas y un promedio de 8.25 de las 4 repeticiones.

C2: La cantidad de hojas se incrementó durante el periodo, llegando en la semana 14 a un máximo de 7 hojas y un promedio de 7 de las 4 repeticiones.

C3: La cantidad de hojas se incrementó hasta la semana 11 con un máximo de 7 hojas y promedio de 6.25 de las cuatro repeticiones, luego presentó una disminución hasta la semana 14, llegando a un máximo de 5 hojas y un promedio de 4.5 hojas de las 4 repeticiones.

Observación: La disminución de la cantidad de hojas en concentración C3, se debió a la resequedad y caída de las mismas a partir de la semana 12.

El orden de incremento de la cantidad de hojas según las concentraciones es durante las 14 semanas es:

$$C1 > C2 > C3$$

Esto indica una relación inversa, debido a que a mayor concentración de suelo contaminado por relave minero es menor la cantidad de hoja.

Tabla 49

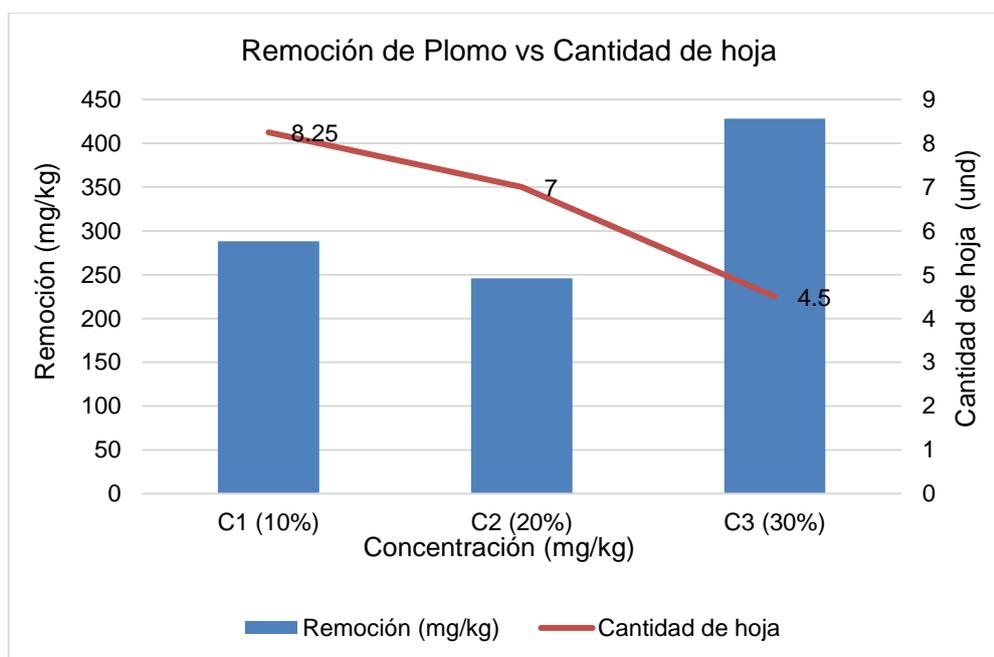
Remoción de plomo (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)

Concentración	Remoción PB mg/kg	Cantidad de hojas
C1 (10%)	288.23	8.25
C2 (20%)	245.89	7
C3 (30%)	427.97	4.5

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de plomo (mg/kg) y la cantidad de hojas para cada concentración (C1, C2 y C3).

Figura 32

Remoción de plomo (mg/kg) vs cantidad de hoja (cm)



Nota: La tabla muestra la relación de la remoción de plomo (mg/kg) y la cantidad de hojas para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 49, se observa que en C1 se registra una remoción de 288.23 mg/kg, además de una mayor cantidad promedio de hojas de 8.25, C2 registra una remoción de 245.89 mg/kg alcanzó una longitud promedio de cantidad de hojas de 7, mientras que C3

registra una remoción de 427.97 mg/kg, además se observó menor cantidad de hojas promedio de 4.5.

Tabla 50

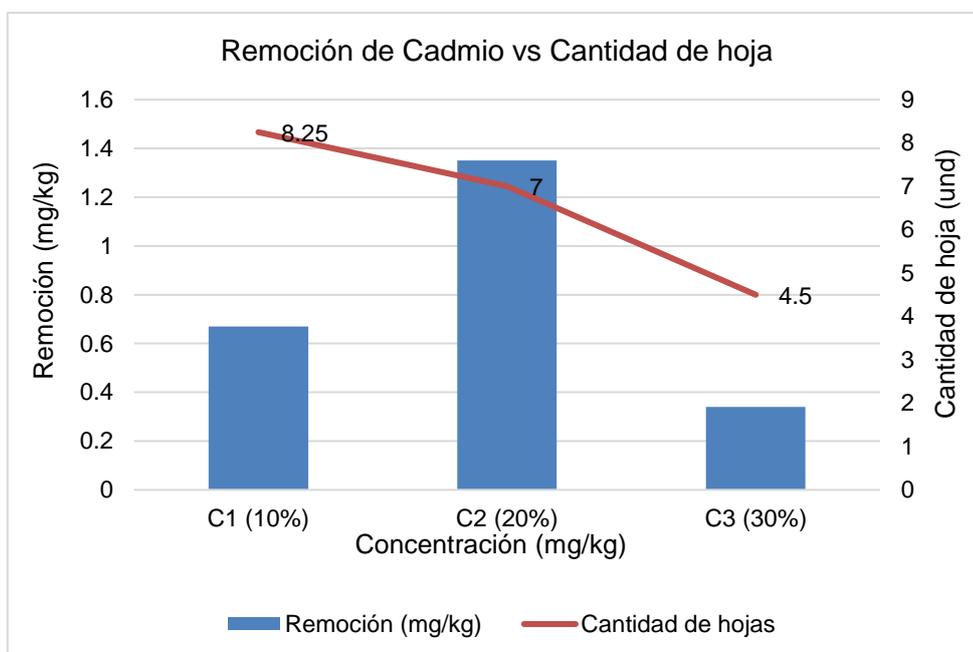
Remoción de cadmio (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)

Concentración	Remoción Cd mg/kg	cantidad de hojas
C1 (10%)	0.67	8.25
C2 (20%)	1.35	7
C3 (30%)	0.34	4.5

Nota: La tabla muestra los valores de remoción de cadmio (mg/kg) y la cantidad de hojas para cada concentración (C1, C2 y C3).

Figura 33

Remoción de cadmio (mg/kg) vs cantidad de hojas (cm)



Nota: La tabla muestra la relación de la remoción de cadmio (mg/kg) y la cantidad de hojas para cada concentración (C1, C2 y C3).

De acuerdo a la Tabla 50, se observa que en C1 se registra una remoción de 0.67 mg/kg, además de una mayor cantidad promedio de hojas de 8.25, C2 registra una remoción de 1.35 mg/kg alcanzó una longitud promedio de cantidad de hojas de 7, mientras que C3 registra una remoción de 0.34 mg/kg, además se observó menor cantidad de hojas promedio de 4.5.

- **Color de hojas**

Contrastación con la remoción de Plomo

En la C1 se obtuvo una remoción de 288.23 mg/kg, durante las 14 semanas resultó una variación en la tonalidad de verde desde V2 – V3 en las primeras semanas y de V3 – V4 en las últimas semanas, como se indica en la Tabla 26.

En la C2 se obtuvo una remoción de 245.89 mg/kg, se observó una predominancia de la tonalidad de verde V3 durante el periodo de las 14 semanas, como se indica en la Tabla 27.

En la C3 se obtuvo una remoción de 427.27 mg/kg, durante las 14 semanas resultó una variación en la tonalidad de verde desde V3 en las primeras semanas y de V3 – V2 en las últimas semanas, como se indica en la Tabla 28.

De acuerdo a estos resultados se observa una relación entre la tonalidad de color verde y la remoción de contaminante para C1 y C3,

donde a mayor remoción la tonalidad de verde fue más clara; y para C2 en general no se evidenció una variación de la tonalidad de verde.

Contrastación con la remoción de Cadmio

En la C1 se obtuvo una remoción de 0.67 mg/kg, durante las 14 semanas resultó una variación en la tonalidad de verde desde V2 – V3 en las primeras semanas y de V3 – V4 en las últimas semanas, como se indica en la Tabla 26.

En la C2 se obtuvo una remoción de 1.35 mg/kg, se observó una predominancia de la tonalidad de verde V3 durante el periodo de las 14 semanas, como se indica en la Tabla 27.

En la C3 se obtuvo una remoción de 0.34 mg/kg, durante las 14 semanas resultó una variación en la tonalidad de verde desde V3 en las primeras semanas y de V3 – V2 en las últimas semanas, como se indica en la Tabla 28.

De acuerdo a estos resultados se observa una relación entre la tonalidad de color verde y la remoción de contaminante para C1 y C2, donde a mayor remoción la tonalidad de verde fue más clara.

- **pH**

De acuerdo con el estudio, la variación promedio de pH de las 4 repeticiones por cada concentración durante las 14 semanas resultó como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 51

Variación promedio del pH por cada concentración

	Semana 1		Semana 14		Variación de pH
	Valor de pH	Categoría	Valor de pH	Categoría	
C1 (10%)	6.28	Moderadamente ácido	7	Neutro	0.72
C2 (20%)	5.7	Moderadamente ácido	6.48	Moderadamente ácido	0.78
C3 (30%)	5.35	Moderadamente ácido	6.25	Moderadamente ácido	0.9

Nota: La tabla muestra la variación promedio entre pH inicial y final por cada concentración y su categoría.

De acuerdo con el estudio, el pH promedio de las 4 repeticiones por cada concentración muestran valores iniciales, tales como, C1 (6.28), C2 (5.7) y C3 (5.35) y al finalizar la investigación en la semana 14 se obtiene valores de C1 (7), C2 (6.48) y C3 (6.25), lo que significa que durante el tiempo que se aplicó la técnica de fitorremediación si hubo remoción de los contaminantes ya que el nivel de pH mostró cambios ligeros tendiendo a disminuir la acidez del suelo.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

A continuación, se mencionan estudios que han aplicado la técnica de fitorremediación con *Zea mays*, cuyos resultados respaldan nuestra investigación en cuanto a la remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por metales pesados:

- La presente investigación demostró la hipótesis que la fitorremediación con *Zea mays* remueve plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI, la cual se desarrolló en macetas

en un periodo de 14 semanas, con concentraciones de C1 (10%), C2 (20%) y C3 (30%) mostrando una disminución de plomo y cadmio, es decir, la técnica de fitorremediación con *Zea mays* aplicada al suelo contaminado con relave minero removió dichos metales; este resultado también se puede contrastar con el estudio de investigación titulado “Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*) usando enmiendas” donde se determinó que los niveles de significancia resultaron menores al 5% ($p\text{-valor} < 0.05$) en las medias de las concentraciones de cadmio y plomo en maíz en las muestras de compost, humus, (Compost y humos) y el testigo antes y después del tratamiento por lo que concluye que existe una remoción de plomo y cadmio de suelos contaminados, aplicando el *Zea mays* con distintas enmiendas orgánicas.

- En el estudio de investigación titulado “Eficiencia del maíz (*Zea mays*) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero Catac – Recuay, Ancash 2017”, los resultados obtenidos fueron que hubo una disminución del plomo en el suelo fueron: 138.63 mg/kg (maíz), 131,19 mg/kg (maíz y compost), 179.39 mg/kg (maíz y humus) y 167.91 mg/kg (maíz con humus y compost); asimismo, estadísticamente según la prueba T-Student para muestras relacionadas, los niveles de significancia resultaron menores al 5% ($p\text{-valor} < 0.05$) en las medias de las concentraciones de plomo antes

y después del tratamiento, coincidiendo, con los resultados de la presente investigación donde hubo remoción de plomo de los suelos contaminados por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.

- En el estudio “Fitorremediación con maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados” (Munive Cerrón, et. al. 2018) tiene por objetivo evaluar el efecto de la aplicación de compost a base de Stevia sobre los metales pesados y la fertilidad de los suelos agrícolas del valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de fitorremediación, utilizando el maíz; cuyos resultados indican que suelos con mayores concentraciones de plomo y cadmio presentan efectos negativos como un menor rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíces del maíz (*Zea mays*) del mismo modo se presentó un menor crecimiento y desarrollo más lento de la planta, paralelamente a una menor concentración de plomo y cadmio presentan mayor crecimiento; en la cual se puede verificar con la presente investigación que también a mayor concentración de plomo y cadmio muestra valores menores de la longitud de tallo, longitud de hoja, germinación de semillas, cantidad de hojas, incluso el color del *Zea mays* se ve afectando observándose una coloración verde muy claro con tendencia a amarillo, sin embargo para la concentración C1 (10%) se observa un efecto positivo en los indicadores físicos, es decir a mayor concentración menor longitud de hoja, menor longitud de tallo, menor germinación, menor cantidad de hojas es decir hay una relación inversamente proporcional.

- En el estudio de investigación titulado “Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays L.* en la estación experimental el Mantaro - Junín” cuyo resultados estadísticamente, según el Análisis de Varianza (ANOVA), las medias de las concentraciones del cadmio no mostraron diferencia estadística significativa ($P > 0,05$); mientras que para el plomo (Pb) si mostraron diferencia estadística significativa ($P < 0,05$); por lo, que se concluyó que hubo fitoextracción para el plomo aplicando el *Zea mays*, pero para el cadmio no hubo fitoextracción significativo esto debido a que los suelos tenían flujos de entrada de agua de riego individualmente, coincidiendo con la presente investigación en la cual los resultados estadísticos para la concentración C3 (30%) del cadmio no hubo remoción significativa.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores del presente trabajo de investigación “Fitorremediación con *Zea mays* para la remoción de plomo y cadmio de suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI” hemos cumplido con los principios éticos de profesionalismo, transparencia, objetividad, igualdad, compromiso, honestidad y confidencialidad de información estipulados en el Código de Ética de Investigación de la Universidad Nacional del Callao aprobado con Resolución de Consejo Universitario N° 210-2017. Por lo que nos responsabilizamos de la información emitida en el presente informe de tesis.

CONCLUSIONES

- Hubo una remoción de plomo en los suelos contaminados al 10%, 20% y 30% donde para C1 fue de 288.23 mg/kg, para C2 fue de 245,89 mg/kg y para C3 fue de 427.97 mg/kg por lo que se concluye que la fitorremediación con *Zea mays* removió el plomo del suelo contaminado por relave minero. Asimismo, estadísticamente para las concentraciones C1, C2 y C3 hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) antes y después del tratamiento, por lo que se concluye que la fitorremediación si tiene efectos significativos sobre la remoción de plomo de los suelos contaminados al 10%, 20% y 30% por relave minero de la Planta concentradora UNI. Esto significa que los resultados son confiables con un 5% de error.
- Hubo una remoción de cadmio en los suelos contaminados al 10%, 20% y 30% donde para C1 fue de 0.67 mg/kg, para C2 fue de 1.35 mg/kg y para C3 fue de 0.34 mg/kg por lo que se concluye que hubo una eficiencia de la fitorremediación con *Zea mays*. Asimismo, estadísticamente para las concentraciones C1 y C2 hubo una diferencia significativa ($p < 0.05$) antes y después del tratamiento, por lo que se concluye que la fitorremediación si tiene efectos significativos sobre la remoción de los suelos contaminados al 10% y 20% por relave minero de la Planta concentradora UNI. En cambio, para la concentración C3 no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) antes y después del tratamiento, por lo que se concluye que la fitorremediación no tiene efectos significativos sobre la remoción de los suelos contaminados al 30%. Esto se pudo deber al bajo

desarrollo del *Zea mays* por ende no tuvo la capacidad suficiente para remover el cadmio del suelo. Cabe indicar que la absorción de metales es influenciada directamente por la biomasa de las plantas.

- Existe una relación entre la longitud de hoja, longitud de tallo, cantidad de hojas, con las diferentes concentraciones de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero, donde a mayor concentración menor desarrollo de la planta y viceversa. Este comportamiento puede obedecer a la exposición de plomo, ya que de acuerdo (Godbold & Kettner, 1991), (Gzyl, Przymusinsk , & Wozny, 1997) y (Malkowski, Kita, Galas, Karcz, & Kuperberg, 2002), las altas exposiciones de las plantas de maíz a elementos como cobre y plomo, reducen significativamente su crecimiento y ocasionan una rápida inhibición en el desarrollo de las raíces.
- El patrón de comportamiento en la germinación de las plantas del *Zea mays* respondió a las diferentes concentraciones de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero; por lo que, se concluye que a mayor concentración menor fue la tasa de germinación de la planta y viceversa.
- De acuerdo a los resultados obtenidos durante las 14 semanas se observó que en C2 y C3 las tonalidades de verdes fueron menos intensas variando de V2 a V3, en comparación de estos resultados tanto en C3 y C2 favorecen a la remoción de plomo y cadmio, para C3 favoreció la remoción de plomo y en C2 se vio más favorecida la remoción de cadmio, es decir

hay una relación con la disminución del color, donde a mayor remoción de plomo y cadmio fue menor la tonalidad del color verde de las hojas.

- Con los resultados obtenidos de pH se evidencia que para la C1 inició con un pH de 6.28 (moderadamente ácido) y al término de las 14 semanas mostró un pH de 7 (neutro); para C2 inicio con un pH de 5.7 (moderadamente ácido) y finalizó con un pH 6.48 (moderadamente ácido); y para el C3 inicio con un pH 5.35 (moderadamente ácido) y finalizó con un pH de 6.25 (moderadamente ácido); lo que implica que en todas las concentraciones hubo un cambio en el pH.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda aumentar el número de repeticiones para cada concentración de suelo contaminado, ya que dos resultados de la prueba de normalidad resultaron que los datos no provenían de una distribución normal, es decir, a mayor número de repeticiones, habrá mayor comparación para encontrar la relación entre las variables, además que disminuye los errores de medición.
- Para determinar la remoción del plomo y camio del suelo contaminado por relave minero con *Zea mays*, sólo se realizó análisis al suelo, por tanto, se recomienda en futuras investigaciones realizar un análisis en el tejido vegetal, para determinar la presencia de dichos metales en las diferentes partes del *Zea mays* tanto en la raíz, tallo y hojas.

- En la presente investigación se trabajó bajo concentraciones del 10%, 20% y 30% donde estos porcentajes representan la cantidad de contaminante respecto a la masa total de suelo, por lo que recomienda replicar el trabajo, pero en concentraciones mayores al 30%, para determinar si la fitorremediación con *Zea mays* puede remover el plomo y cadmio bajo estas concentraciones, y así acercarse más a las condiciones reales del suelo contaminado por la planta concentradora UNI.

- Se recomienda aplicar in situ la técnica de la fitorremediación con *Zea mays* en el suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI con la finalidad de contribuir con la remediación del suelo contaminado que supera el estándar de calidad ambiental para suelo residencial; asimismo, se busca dar solución al fenómeno de manera natural, de esta manera nos permite conseguir que la situación sea lo más real posible.

BIBLIOGRAFÍA

- Adesodum, J. T. (2010). Phytoremediation Potentials of Sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for Metals in Soils Contaminated with Zinc and Lead Nitrates. *Water Air Soil Pollut.*, 7: 195-201.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999). Profile for Cadmium. Atlanta.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2007). Profile for lead. Atlanta.
- Agudelo, L. y. (2009). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Red Revista Lasallista*, 6: 57-60.
- Ambientum. (n.d.). Retrieved 02 10, 2017, from <http://www.ambientum.com/>
- Andrades Rodriguez, M., Carral Gonzalez, P., Martinez Villar, E., Alvarez, G. A., & Alonso Martirena, J. I. (2000). Contenido en metales pesados y calidad de suelos en cultivos frutales de la Rioja (España). *Edafología*, 7(3) : 313-318.
- Área de Servicios de Investigación del Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria [DIDP]. (2010). *Congreso*. Retrieved 02 10, 2017, from [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/BA9A77F64A43DBDC0525780E0070D202/\\$FILE/IT021_04011111.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/BA9A77F64A43DBDC0525780E0070D202/$FILE/IT021_04011111.pdf)
- Argota Pérez, G., Encinas Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone, J. (2014). COEFICIENTES BIOLÓGICOS DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS EXPUESTOS A PLOMO Y CADMIO UTILIZANDO *ALOPECURUS MAGELLANICUS BRACTEATUS* Y *MUHLENBERGIA ANGUSTATA* (POACEAE), PUNO, PERÚ. *The Biologist (Lima)*, 99-108.
- Babula, P. L. (2012). Cadmium Accumulation by Plants of Brassicaceae Family and Its Connection with Their Primary and Secondary Metabolism. In I. E. En N. Anjun, *The Plant Family Brassicaceae. Contribution Towards Phytoremediation*. (pp. 71-98). Moscú: Editorial Board.
- Banco Mundial. (2005). Retrieved 12 20, 2017, from <http://www.plandirectorandp.com/documentos/FINALRESUMENEJECUTIVOEstudioMineria.pdf>
- Bernal Figueroa, A. A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de la Investigación Agraria y Ambiental*, 245-258.
- Bernal, M. P., Clemente, R., & Walker, D. J. (2007). Aplicación de la fitorremediación. *Revista Ecosistemas*, 68-72.
- Breckle, & Tiller. (1991). *Growth under stress: heavy metals. In: plant roots: the Hidden Half*. New York.

- Casallas, J. K. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminado por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca Furatena Alta en el Municipio de Útica (Cundinamarca)*. Bogota.
- Charles, W. M. (2000). In *Heavy metals trends in floodplain sediments and valley fill* (pp. 53-68). Germany.
- Chinmayee, D. M. (2012). The Assessment of Phytoremediation Potential of Invasive Weed *Amaranthus Spinousus L.* *Appl. Biochem Biotechnol.*, 10: 1550-1559.
- Cruz Nuñez, O. F. (2013). *Manual para el cultivo del maiz en Honduras*. Tegucigalpa.
- De Souza, E. L. (2012). Assessing the Tolerance of Castor Bean to Cd and Pb for Phytoremediation Purposes. *Biol Trace Elem Res.*, 8: 93-100.
- Defensoría del pueblo. (2015, Julio 15). *Informe Defensorial N° 171 ¡Un llamado a la remediación!* Lima: Adjuntía del Medio Ambiente, Servicios Públicos y Pueblos Indígenas.
- Definicion ABC. (n.d.). *Definicion ABC*. Retrieved 02 10, 2017, from www.definicionabc.com.
- Dios Hidalgo, D., & Zavala Garay, E. (2005). *Informe Planta Concentradora UNI*. Lima: UNI.
- Dushenkov, S., Kalpunik, Y., Blaylock, M., Sorochisky, B., Raskin, I., & Ensley, B. (1997). Phytoremediation: a novel approach to an old problem. *Studies in Environmental Science*, 66(C): 563-572.
- EPA, U. (1997). *Brownfields Technology Primer: Selecting and Using Phytoremediation for Site Cleanup*. Washington, DC.: Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office .
- Falcon Estrella, J. V. (2017). *FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELO CONTAMINADO CON Zea mays L. EN LA ESTACION EXPERIMENTAL EL MANTARO - JUNIN*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- FAO and TIPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Fernández Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldán Carrillo, T. G., Ramírez Islas, M. E., Zegarra Martínez, H. G., Uribe Hernández, R., . . . Arce Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. México: Instituto Mexicano del Petróleo.
- Flores, E. M., & Martins, A. F. (1997). Distribution of trace elements in eggs samples collected near coal power plants. Brasil.

- Gama Retamozo, Y. (2019). *LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN - CAJABAMBA*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca - Escuela de Posgrado.
- Gama Retamozo, Y. O. (2019). *La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción - Cajabamba*. Cajabamba: Universidad Nacional de Cajamarca.
- GLOBE. (2005). *Protocolo del pH del suelo*. Retrieved from [https://www.globe.gov > documents](https://www.globe.gov/documents)
- Godbold, D. L., & Kettner, C. (1991). Use of root elongation studies to determine aluminium and lead toxicity in *Picea abies* seedlings. *J. Plant Physiol.* , 231-235.
- Grandez Argomeda, M. (2017). *REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS A ORILLAS DEL*. Lima: Universidad Cesar Vallejo-Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Gzyl, J., Przymusinsk , R., & Wozny, A. (1997). Organospecific reaction of yellow lupin seedlings to lead. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 61-66.
- Herbario de la Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia. (2005). *Aprende en línea*. Retrieved 02 17, 2017, from <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/ova/?q=node/521>
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México DF: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES,S.A. DE C.V.
- Hernandez, E. A. (2012). *Acumulación de arsenico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros*. Mexico: Laboratorio de Quimica Analitica.
- HLCSISTEMAS. (2019, Noviembre 13). ¿Qué es una planta concentradora? *HLC Ingeniería y construcción*.
- Huang, J. y. (1997). Lead Phytoremediation : Species variation in lead uptake and translocation. *New Phytology*, 134: 75-84.
- INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. (2011). *Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar*. Ecuador: International Plant Nutrition Institute.
- J.Pastor, M. -G. (2009). *Respuesta del Maíz (Zea mays) en suelos contaminados por metales pesados despues de crecer una comunidad de pasto*. España.
- Jiménez Sosa, J. F. (2015). *Fitoextracción de Plomo de un suelo contaminado con el uso de tres agentes quelantes en maíz e huguerilla*. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lloyd, J. R., & Lovley, D. R. (2001). Microbial detoxification of metals and radionuclides, Current opinion in Biotechnology. Massachusetts.

- López Martínez, S., Gallegos Martínez, M. E., Pérez Flores, L. J., & Gutiérrez Rojas, M. (2005). Mecanismo de Fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Programa de Doctorado en Biología Experimental, Departamento de Hidrología, Departamento de Ciencias de la Salud, Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana*. Iztapalapa.
- Malkowski, E., Kita, A., Galas, W., Karcz, W., & Kuperberg, J. M. (2002). Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effect on growth and the concentrations of potassium and calcium. *Plant Growth Regul*, 69-76.
- Maroto, J. (1998). Horticultura herbácea especial. *Mundi prensa. Madrid - España*, 589-593.
- Mayank, V. D. (2011). Bioassay as monitoring system for lead phytoremediation through *Crinum asiaticum* L.
- Mc Grath, S. L. (2006). Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*. In *Environmental Pollution* (pp. 141 (1) : 115 - 125).
- Mc Grath, S. P. (2001). Phytoremediation of Heavy Metal - Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically Phytoextraction. *Journal of Environmental Quality*, 30(6): 1919 - 1926.
- Mc Grath, S. S. (1993). The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils. In H. Y. Eijsackers, *Integrated Soils and Sediment Research : A basics for proper Protection* (pp. 673-676). Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Medina, R. J., Vallejo, A. S., & Rocha, J. M. (2001). Elementos a considerar para integrar las. *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 65 P.
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Repositorio de Revistas Electrónicas de la Universidad Ricardo Palma*, 141-154.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y riego. (2021, junio 23). *Ministerio de Desarrollo Agrario y riego*. Retrieved from Ministerio de Desarrollo Agrario y riego: <https://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/30-sector-agrario/maiz/250-maiz?start=2>
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO. (2022, 02 01). *Ficha técnica del Zea mays*. Retrieved from MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO: <https://www.midagri.gob.pe/portal/30-sector-agrario/maiz/250-maiz?start=2>
- Munive Cerrón, R., Loli Figueroa, O., Azabache Leyton, A., & Gamarra Sánchez, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 551-560.

- Núñez Lopez, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & J. Olguin, E. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. *Revista ciencia*, 69.
- ORGANISMO CRISTIANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE HONDURAS. (2007). *Selección artesanal de semilla de maíz criollo*. Honduras. Retrieved from OCDIH.
- Papuico Huayta, K. Z. (2018). TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE METALES PESADOS CON LA PLANTA YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) EN LA RELAVERA DE QUIULACocha DEL DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR DE RANCAS. *Tesis de la Escuela de Formación profesional de Ingeniería Ambiental*. Cerro de Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Pasivos Ambientales Mineros en el Perú. (2015, 07 15). *El Comercio*. Retrieved 02 10, 2017, from <http://elcomercio.pe/sociedad/peru/peru-hay-4353-pasivos-ambientales-alto-riesgo-noticia-1826138>
- Pastor, J., Gutiérrez-Ginés, M., & Hernández, A. (2012). *Respuesta del maíz (Zea mays) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto*. Pamplona: Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Perdomo, T. (2021, junio 23). *Fitorremediación: tipos, ventajas y desventajas*. Retrieved from Fitorremediación: tipos, ventajas y desventajas: <https://www.lifeder.com/fitorremediacion/>
- Pineda, H. (2004). Presencia de hongos Micorrízicos Arbusculares contribución de Glomus intradices en la absorción y translocación de Zinc y Cobre en Girasol (*Helianthus annuus* L) crecido en suelo contaminado con residuos de mina. *Tesis para Grado de Doctor en Ciencias*. Tecoman, Colima: Universidad de Colima.
- Reichenauer, T. G., & Germida, J. J. (2008). Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater. *ChemSusChem*.
- Roca Fernandez, A. I. (2009). *Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo. INGACAL*. Retrieved 02 16, 2017, from http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm
- Rodríguez, R., Oldecop, L., Linares, R., & Salvadó, V. (2009). Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 7-24.
- Ruiz Huerta, Esther Aurora; Armienta Hernpandez, María Aurora;. (2012). ACUMULACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES PESADOS EN MAÍZ EN SUELOS CERCANOS A JALES O RESIDUOS MINEROS. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, 103-117.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2017). *Pauta técnica para la aplicación de compost*. Atacama: Programa SIRDS-D-S.

- Singh, O. S. (2003). Phytoremediation : an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61: 405-412.
- Singh, O. V., & Jain, R. K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied and Microbiology Biotechnology*.
- Sociedad Nacional de Minería, P. y. (2015). *confiep*. Retrieved 02 16, 2017, from http://www.confiep.org.pe/facipub/upload/publicaciones/1/962/informe_plomo_snmpe.pdf
- Suthar, V. K. (2014). EDTA - enhanced phytoremediation of contaminated calcareous soils: heavy metal bioavailability, and uptake by maize and sesbania. *Environ Monit Assess*, 12 : 3957 - 3968.
- Valencia, S. M. (2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el metodo de fitorremediación*. Quito: Tesis previa para la obtención del título de Ingeniero Ambiental.
- Vargas Julca, K. B. (2017). *EFICIENCIA DEL MAIZ (ZEA MAYS) CULTIVADO CON ABONOS ORGÁNICOS (COMPOST Y HUMUS HECHOS A PARTIR DE RESTOS DE FLORES) EN LA DISMINUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE PLOMO DE SUELOS CONTAMINADOS POR EL PASIVO AMBIENTAL MINERO CATAC-RECUAY, ANCASH 2017*. Lima: Universidad César Vallejo .
- Vásquez, M. D. (2003). *Uso de especies vegetales para controlar ambientes contaminados*. España: Profesora del Departamento de Biología Animal, Vegetal y Ecología, Unidad de de Fisiología vegetal, Facultad de ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Volke Sepulveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. *Instituto Nacional de Ecología*, 30.
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2017). The nature and properties of soils. *Pearson*.
- Witt, C., Pasuquin, J., Mutters, R., & Buresh, R. (2021, Junio 11). *IPNI CANADA*. Retrieved from <http://www.ipni.net/>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

ANEXO 2: Instrumentos validados

- 1.1. Ensayo previo al inicial**
- 1.2. Ensayo inicial (Reensayo)**
- 1.3. Ensayo final**

ANEXO 3: Base de datos

- 3.1. Ingreso inicial de muestras al laboratorio**
- 3.2. Crecimiento de *Zea mays* (14 semanas)**
- 3.3. Medición de pH**
- 3.4. Potenciómetro y soluciones a calibrar**
- 3.5. Pesado de muestras**
- 3.6. Ingreso final de muestras al laboratorio**

ANEXO 4: Recolección de datos

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FITORREMEDIACIÓN CON *Zea mays* PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DEL SUELO CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA UNI

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES		METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES INDEPENDIENTES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿La fitorremediación con <i>Zea mays</i> removerá el Plomo y Cadmio en el suelo contaminado por relave minero proveniente de la Planta Concentradora UNI?	Evaluar la remoción de Plomo y Cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI mediante fitorremediación con <i>Zea mays</i>	La fitorremediación con <i>Zea mays</i> remueve el plomo y cadmio del suelo contaminado por el relave minero de la Planta Concentradora UNI.	X: Fitorremediación con <i>Zea mays</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de germinación. • Tamaño de hoja. • Tamaño de tallo. • Cantidad de hoja. • Color de las hojas. 	Experimental
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES DEPENDIENTES	POBLACIÓN
<p>P1: ¿En qué medida se removerá el plomo del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con <i>Zea mays</i>?</p> <p>P2: ¿En qué medida se removerá cadmio del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con <i>Zea mays</i>?</p>	<p>O1: Determinar la remoción de Plomo en el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con <i>Zea mays</i>.</p> <p>O2: Determinar la remoción de Cadmio en el suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI, mediante fitorremediación con <i>Zea mays</i>.</p>	<p>H1: La fitorremediación con <i>Zea mays</i> removerá el Plomo del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI.</p> <p>H2: La fitorremediación con <i>Zea mays</i> removerá el cadmio del suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI.</p>	Y1: Remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero.	<ul style="list-style-type: none"> • pH (Unidades de pH) • Concentración inicial de plomo y cadmio en el suelo (mg/Kg MS) • Concentración final de plomo y cadmio en el suelo (mg/Kg MS) 	<p>1718 m²</p> <p style="text-align: center;">MUESTRA</p> <p>200 kg de suelo contaminado por relave minero de la Planta Concentradora UNI</p>

INSTRUMENTOS VALIDADOS

1. ENSAYO PREVIO AL INICIAL



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109061L/20-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN	: CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO	: Suelos
MATRIZ	: Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2020-09-27
LUGAR DE MUESTREO	: CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE	: PC-UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2020-09-28
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2020-09-28
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020-10-05
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-20-09140

Callao, 19 de Octubre de 2020

**Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company**


Firmado Digitalmente por
Alexa Georgiette Lope Salazar
Fecha: 23/10/2020 06:48:47 PM
C.I.P. 190287
Supervisor de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N°LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109061L/20-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C-1
Fecha de Muestreo	2020-09-27
Hora de Muestreo	14:15
Código de Laboratorio	06936 00001
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Metales en suelos				
Cd	mg/kg	0.05	0.03	6.20
Pb	mg/kg	0.50	0.30	2 512.60



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109061L/20-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

La información contenida en el presente informe de ensayo proviene del informe de ensayo N° 98182L/20-MA emitido el 06 de Octubre de 2020.

**BUREAU
VERITAS**





INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109062L/20-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN	: CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO	: Suelos
MATRIZ	: Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2020-09-27
LUGAR DE MUESTREO	: CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE	: PC-UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2020-09-28
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2020-09-28
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020-10-05
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-20-09140

Callao, 19 de Octubre de 2020

**Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company**

Firmado Digitalmente por
Alexa Georgiette Lope Salazar
Fecha: 23/10/2020 06:56:26 PM
C.I.P. 190287
Supervisor de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109062L/20-MA

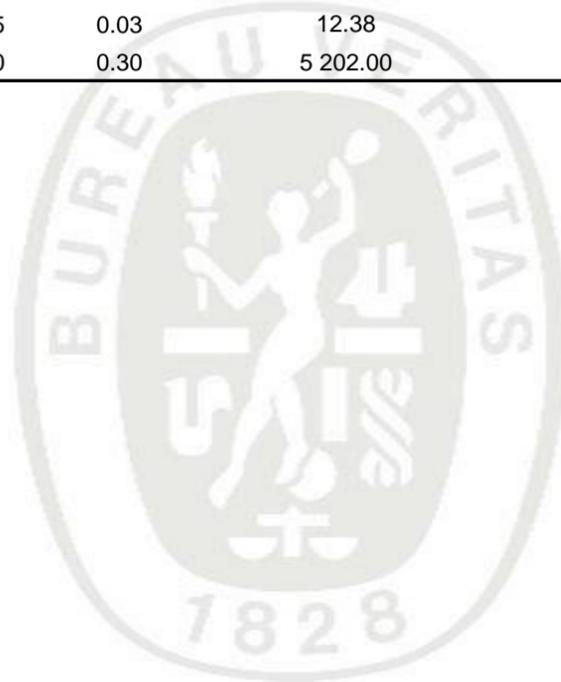
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C-2
Fecha de Muestreo	2020-09-27
Hora de Muestreo	14:22
Código de Laboratorio	06936 00002
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	12.38
Pb	mg/kg	0.50	0.30	5 202.00



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109062L/20-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

La información contenida en el presente informe de ensayo proviene del informe de ensayo N° 98182L/20-MA emitido el 06 de Octubre de 2020.

**BUREAU
VERITAS**





INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109063L/20-MA

ORGANISMO ACREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N° LE - 031
CLIENTE	: ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN	: CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO	: Suelos
MATRIZ	: Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS	: 3
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO	: 2020-09-27
LUGAR DE MUESTREO	: CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE	: PC-UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2020-09-28
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2020-09-28
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2020-10-05
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-20-09140

Callao, 19 de Octubre de 2020

**Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company**

Firmado Digitalmente por
Alexa Georgiette Lope Salazar
Fecha: 23/10/2020 06:56:31 PM
C.I.P. 190287
Supervisor de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N°LE - 031

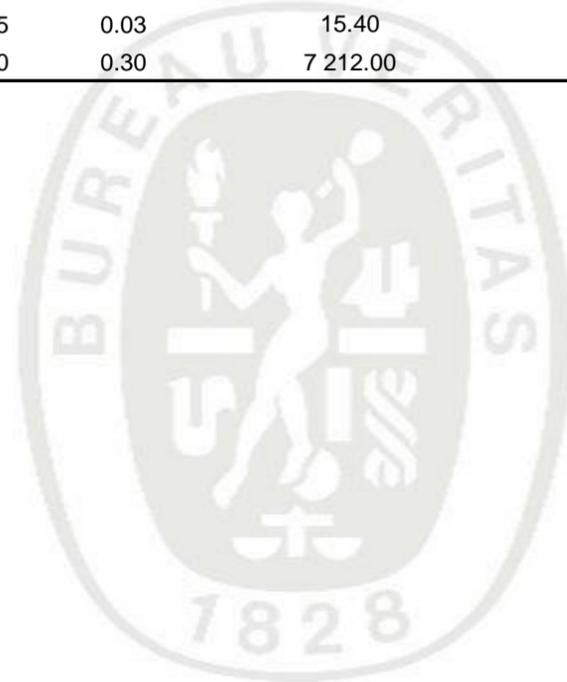
Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109063L/20-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C-3
Fecha de Muestreo	2020-09-27
Hora de Muestreo	14:27
Código de Laboratorio	06936 00003
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Metales en suelos				
Cd	mg/kg	0.05	0.03	15.40
Pb	mg/kg	0.50	0.30	7 212.00



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N°LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 109063L/20-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Thorio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

La información contenida en el presente informe de ensayo proviene del informe de ensayo N° 98182L/20-MA emitido el 06 de Octubre de 2020.

**BUREAU
VERITAS**



2. ENSAYO INICIAL



SOLICITUD DE REENSAYO

Código: F 101
Versión: 03
Fecha: 01/10/2018

LABORATORIO

Medio Ambiente

FECHA DE SOLICITUD

6/01/2021

ÁREA

ICP-MS

OT / OS / IA / JOB

10387

ITEM DE ENSAYO

1 al 4

SOLICITADO POR:

Salumina Luz

ITEM	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PARÁMETROS	VALOR REPORTADO	VALOR DEL REENSAYO	RESULTADOS CONFIRMADOS	RESPONSABLES	OBSERVACIONES
1	10387-0001	Cd (mg/Kg)	0.8	0.8	SI	DD	% DSR obtenido es 5.13 EI % DSR establecido para el método es 0-10
2	10387-0001	Pb (mg/Kg)	146.0	136.05	SI	DD	% DSR obtenido es 7.08 EI % DSR establecido para el método es 0-10
3	10387-0002	Cd (mg/Kg)	6.4	6.00	SI	DD	% DSR obtenido es 6.61 EI % DSR establecido para el método es 0-10
4	10387-0002	Pb (mg/Kg)	2946.2	2679.07	SI	DD	% DSR obtenido es 9.5 EI % DSR establecido para el método es 0-10
5	10387-0003	Cd (mg/Kg)	11.6	12.00	SI	DD	% DSR obtenido es 3.39 EI % DSR establecido para el método es 0-10
6	10387-0003	Pb (mg/Kg)	5732.0	5204.00	SI	DD	% DSR obtenido es 9.66 EI % DSR establecido para el método es 0-10
7	10387-0004	Cd (mg/Kg)	17.6	15.99	SI	DD	% DSR obtenido es 9.59 EI % DSR establecido para el método es 0-10
8	10387-0004	Pb (mg/Kg)	8533.2	7786.89	SI	DD	% DSR obtenido es 9.15 EI % DSR establecido para el método es 0-10

CONCLUSIÓN

El porcentaje de DSR obtenido cumple con los criterios establecidos para la metodología. Por lo tanto el resultado emitido es conforme.

Genera SAC (SI/NO)

NO

Fecha de Reporte:

11/01/2021

Daisy Valle

Jefe y/o Responsable del Área

Información proporcionada por:

Bureau Veritas	
Inspectorate	x

3. ENSAYO FINAL



**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33310L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:31 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33310L/21-MA

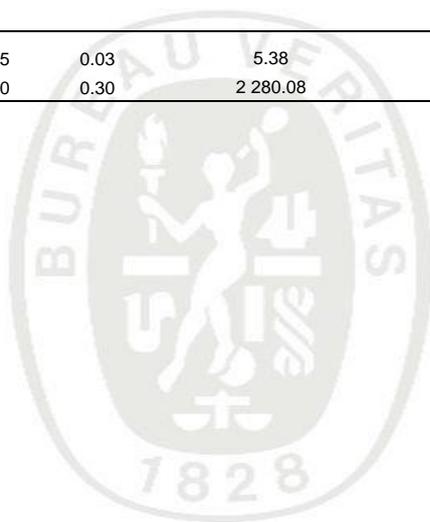
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C1 R1
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:00
Código de Laboratorio	02925 00001
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	5.38
Pb	mg/kg	0.50	0.30	2 280.08



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33310L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33684L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:16 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33684L/21-MA

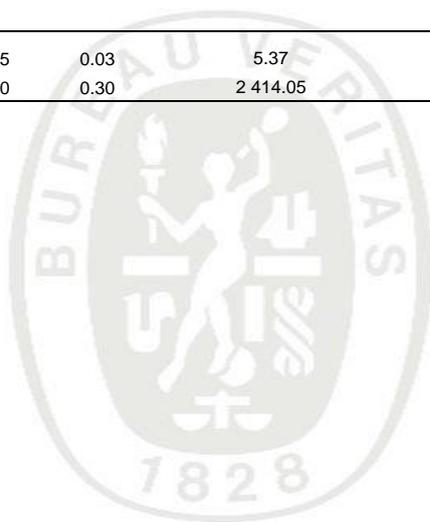
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C1 R2
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:00
Código de Laboratorio	02925 00002
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	5.37
Pb	mg/kg	0.50	0.30	2 414.05



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33684L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33685L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:20 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33685L/21-MA

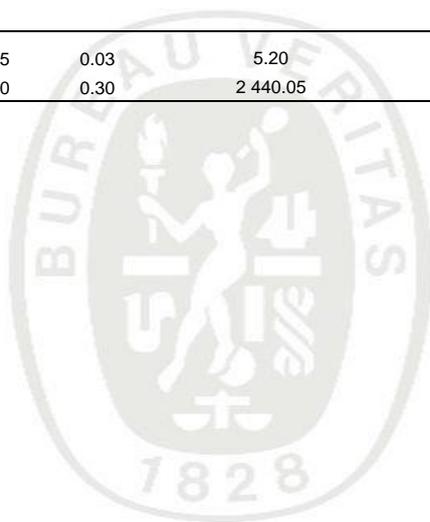
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C1 R3
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:00
Código de Laboratorio	02925 00003
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	5.20
Pb	mg/kg	0.50	0.30	2 440.05



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33685L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33686L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:25:46 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33686L/21-MA

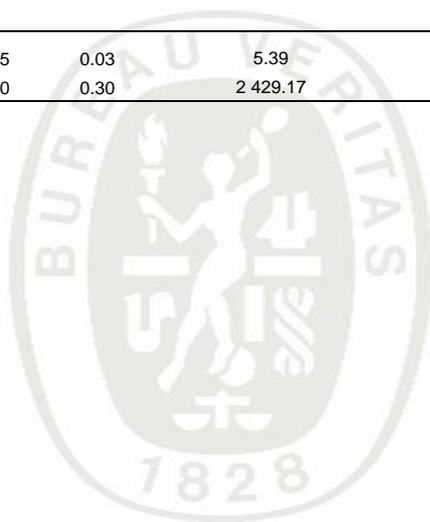
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C1 R4
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:00
Código de Laboratorio	02925 00004
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	5.39
Pb	mg/kg	0.50	0.30	2 429.17



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33686L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33687L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:25:41 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33687L/21-MA

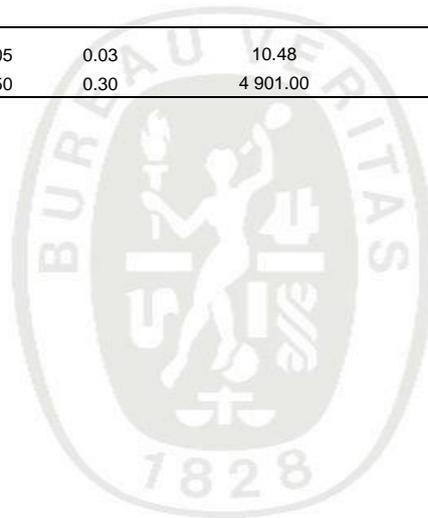
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C2 R1
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:30
Código de Laboratorio	02925 00005
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	10.48
Pb	mg/kg	0.50	0.30	4 901.00



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33687L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33688L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:25:52 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33688L/21-MA

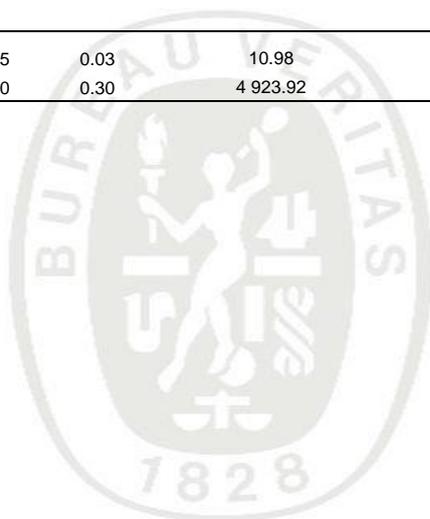
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C2 R2
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:30
Código de Laboratorio	02925 00006
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	10.98
Pb	mg/kg	0.50	0.30	4 923.92



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33688L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33689L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIVETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:25:56 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33689L/21-MA

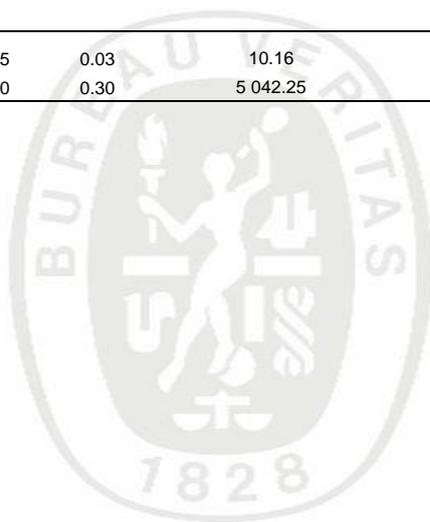
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C2 R3
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:30
Código de Laboratorio	02925 00007
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	10.16
Pb	mg/kg	0.50	0.30	5 042.25



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33689L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33690L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:01 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33690L/21-MA

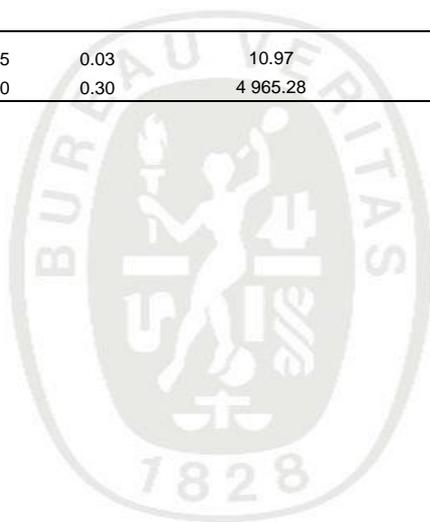
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C2 R4
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	09:30
Código de Laboratorio	02925 00008
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	10.97
Pb	mg/kg	0.50	0.30	4 965.28



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33690L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33691L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:06 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33691L/21-MA

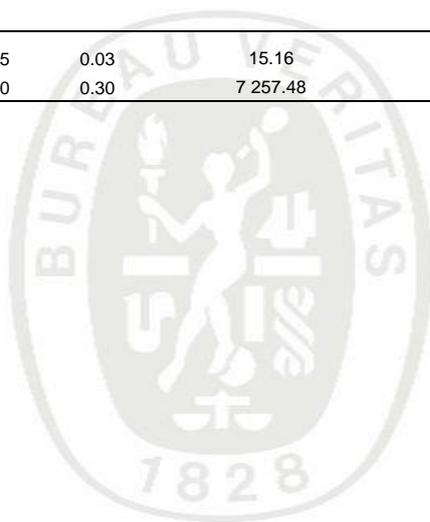
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C3 R1
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	10:00
Código de Laboratorio	02925 00009
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	15.16
Pb	mg/kg	0.50	0.30	7 257.48



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 /3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33691L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33692L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:11 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33692L/21-MA

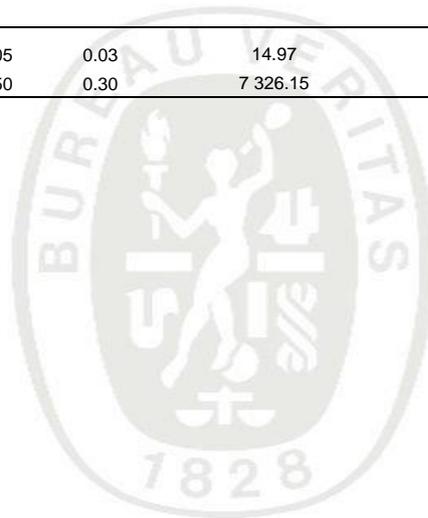
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C3 R2
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	10:00
Código de Laboratorio	02925 00010
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	14.97
Pb	mg/kg	0.50	0.30	7 326.15



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33692L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33693L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:36 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33693L/21-MA

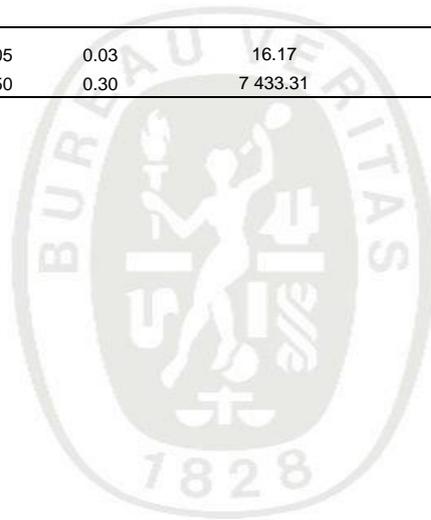
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C3 R3
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	10:00
Código de Laboratorio	02925 00011
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	16.17
Pb	mg/kg	0.50	0.30	7 433.31



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33693L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33694L/21-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : ELDER ANSELMO SAMAME MORALES
DIRECCIÓN : CALLE. LAS NUECES 129 URB. NARANJAL - S.M.P
PRODUCTO : Suelos
MATRIZ : Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : No declarado por el cliente
FECHA DE MUESTREO : 2021-03-11
LUGAR DE MUESTREO : CARABAYLLO - LIMA - LIMA
REFERENCIA DEL CLIENTE : PC - UNI
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2021-03-23
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2021-03-23
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2021-03-31
ORDEN DE SERVICIO : OS/L-21-03141

Callao, 31 de Marzo de 2021

Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por
ALEXA GEORGIETTE LOPE SALAZAR
Fecha: 20/04/2021 08:26:26 AM
C.I.P. 190287
Jefe de Laboratorio

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33694L/21-MA

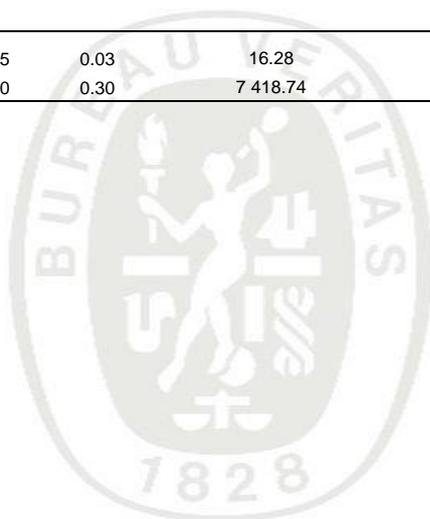
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	C3 R4
Fecha de Muestreo	2021-03-11
Hora de Muestreo	10:00
Código de Laboratorio	02925 00012
Matriz	SU

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.
--------	--------	------	------

Metales en suelos

Cd	mg/kg	0.05	0.03	16.28
Pb	mg/kg	0.50	0.30	7 418.74



**BUREAU
VERITAS**





**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 33694L/21-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales en Suelos (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Calcio, Cerio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Fósforo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Talio, Titanio, Torio, Uranio, Vanadio y Zinc)	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Los datos para la identificación de las muestras recibidas y datos del muestreo fueron proporcionadas por el cliente

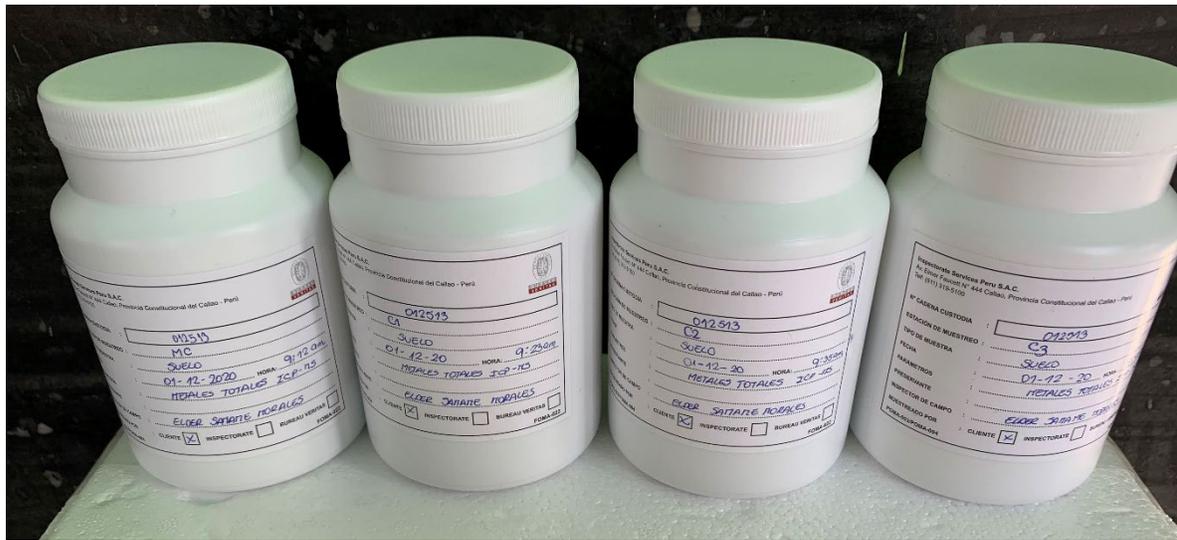
El laboratorio no se hace responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.

**BUREAU
VERITAS**



BASE DE DATOS

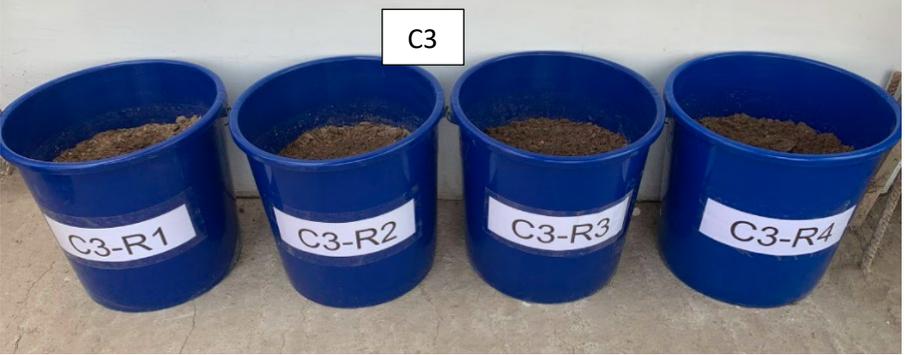
Ingreso a laboratorio: muestra inicial de suelo sin contaminar MC, C1, C2 y C3



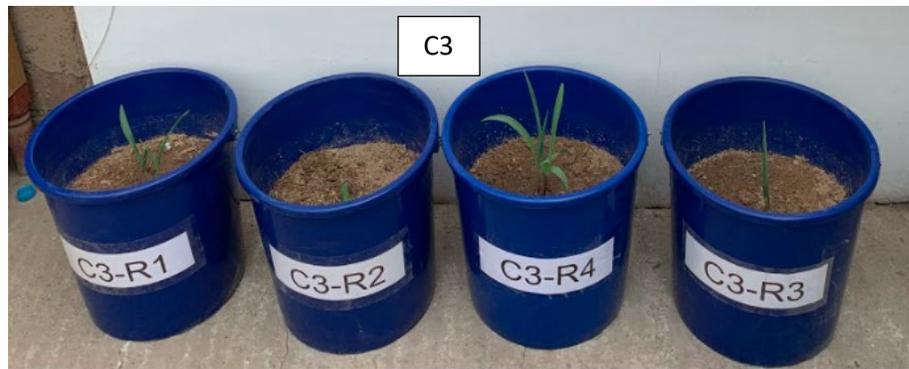
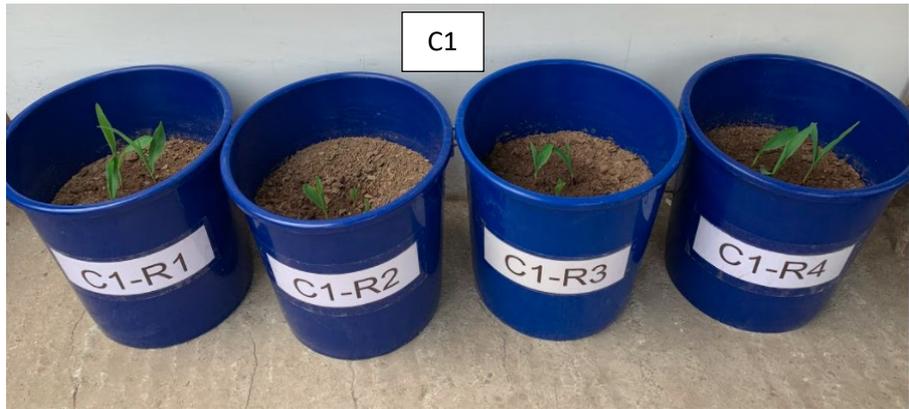
Cadena de custodia

CADENA DE CUSTODIA - MONITOREO DE SUELOS, LODOS SEDIMENTOS						Nº 012513	Código: F-OMA-024 Versión: 03 Fecha: 31/01/2019
CLIENTE/SOLICITANTE ELDER ANSELMO SANCHEZ MORALES ELDER ANSELMO SANCHEZ MORALES ELDER ANSELMO SANCHEZ MORALES 941237 999		PROVENIENCIA DE LAS MUESTRAS Referencia/Propósito: (1) PC - UNZ Lugar: CARABAYLLO Provincia: LIMA		FECHA DEL SERVICIO Nº ORDEN DE SERVICIO: 012513 Nº SOL SERVICIO (SIS LAM): Fecha: 01-12-20 Hora: 9:30am Apogeo: <input checked="" type="checkbox"/> Típicos: <input checked="" type="checkbox"/> Aéreo: <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/>		TIPO DE SERVICIO Semanal: <input type="checkbox"/> Mensual: <input type="checkbox"/> Trimestral: <input type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						ENSAYOS SOLICITADOS (ver reverso)	
ESTACIÓN DE MUESTREO	FECHA (d/m/a)	HORA	TIPO DE MATRIZ (2)	TIPO DE ENVASE (3, 4, 5, 6, 7)	IDENTIFICACIÓN (8) (9) (10) (11)	Cantidad de Envases	
MC	01-12-20	9:12am	SU	P		1	<input checked="" type="checkbox"/>
C1	01-12-20	9:20am	SU	P		1	<input checked="" type="checkbox"/>
C2	01-12-20	9:35am	SU	P		1	<input checked="" type="checkbox"/>
C3	01-12-20	9:40am	SU	P		1	<input checked="" type="checkbox"/>
Total de Envases: 04							
TIPO DE MATRIZ SUELO (L) LODO (L) SEDIMENTO (S)		PROCEDIMIENTO DE MUESTREO UTILIZADO		OBSERVACIONES (campo)		CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO Envases adecuados: <input type="checkbox"/> Muestras dentro tiempo máximo de conservación: <input type="checkbox"/> Condiciones de preservación (pH): <input type="checkbox"/> Condiciones de conservación (T): <input type="checkbox"/> C: Conforme NC: No Conforme	
(1) Indicar la referencia y lugar de procedencia de las muestras como se detalla que sean ambiguo en el Sistema de Ensayo. (2) Referir siempre para el Tipo de Matriz.		OBSERVACIONES (Laboratorio) Metales en suelo ICP-MS: Pb, Cd, Reportar los resultados por cada estación en documentos separados, es decir MC, C1, C2 y C3 en documentos independientes.		Muestreado por Inspectorate: <input type="checkbox"/>		Muestreado por el Cliente: <input type="checkbox"/>	
Información proporcionada por: Firma del Inspector responsable del muestreo: Nombre: _____ Fecha: _____ hora: _____		Firma del supervisor en campo (cliente): Nombre: ELDER ANSELMO SANCHEZ MORALES Fecha: _____ hora: _____		Muestreado por Bureau Veritas: <input type="checkbox"/> Sello de Recepción de Muestras: Nombre: _____ Fecha: _____ hora: _____			

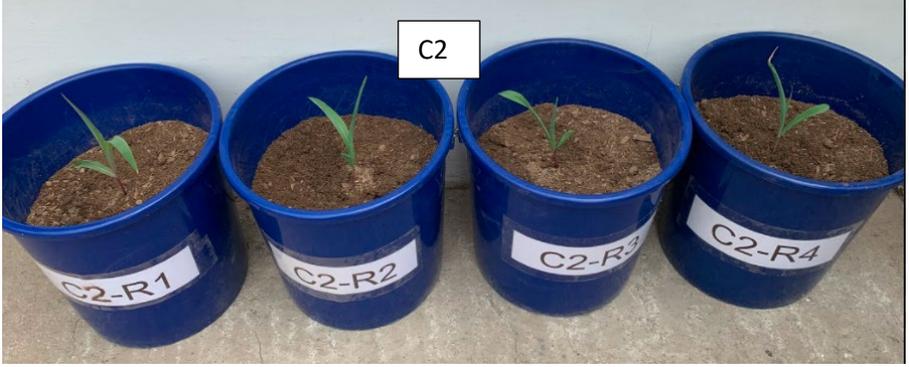
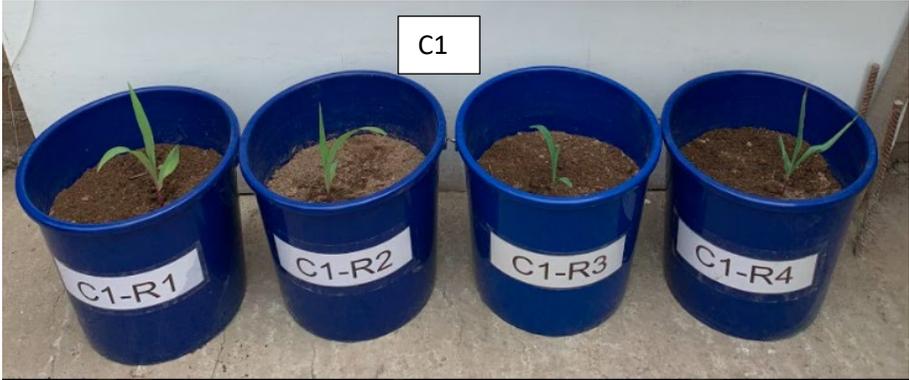
SEMANA 01



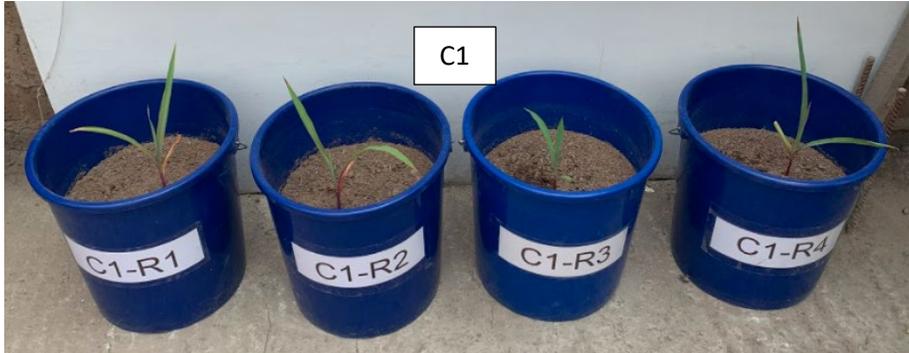
SEMANA 02



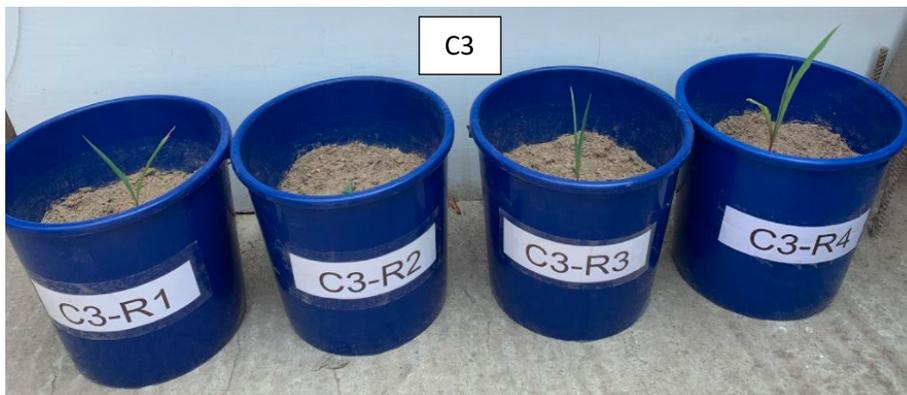
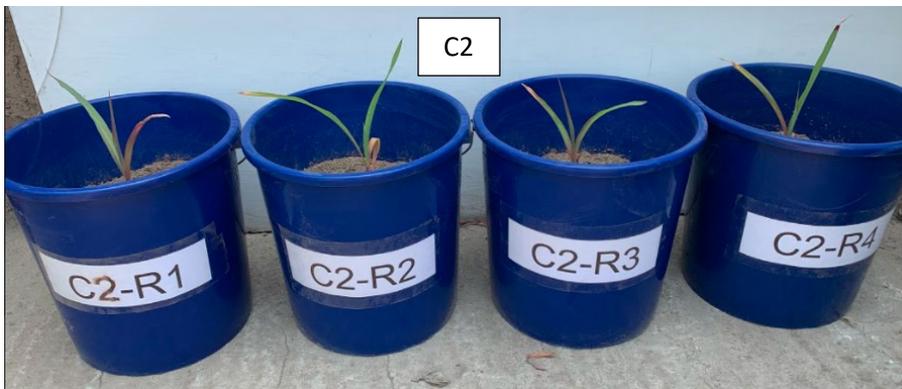
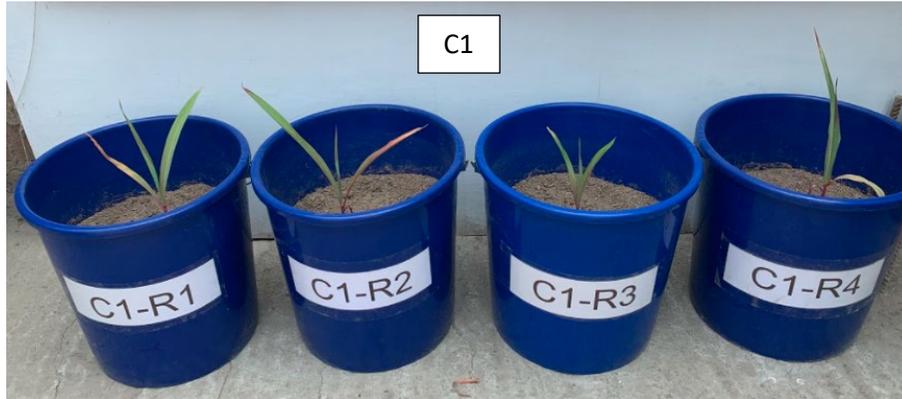
SEMANA 03



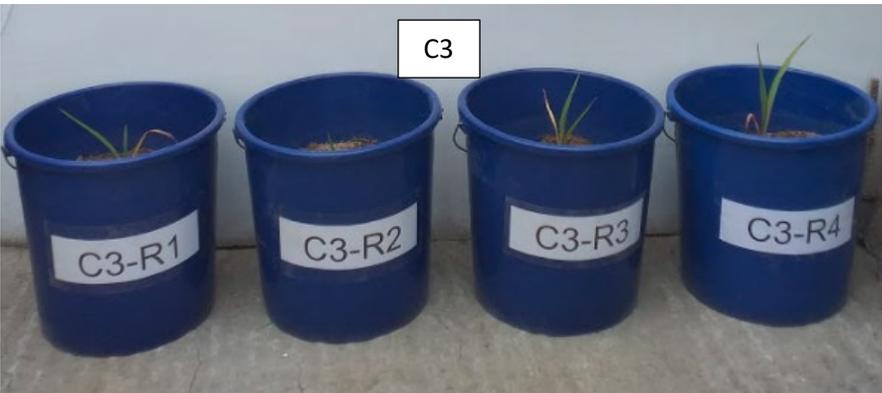
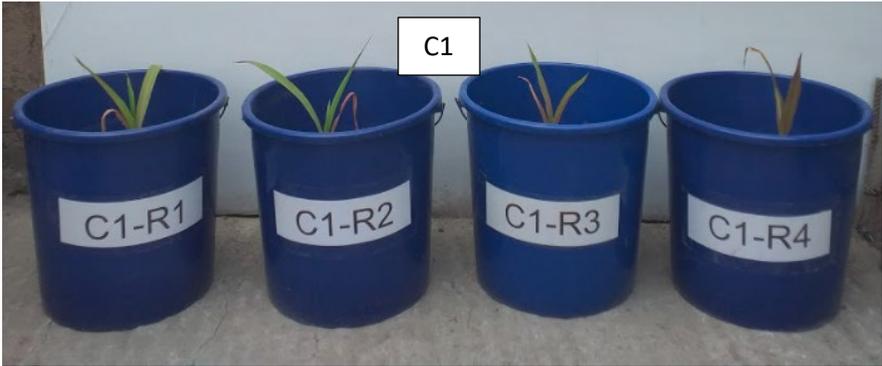
SEMANA 04



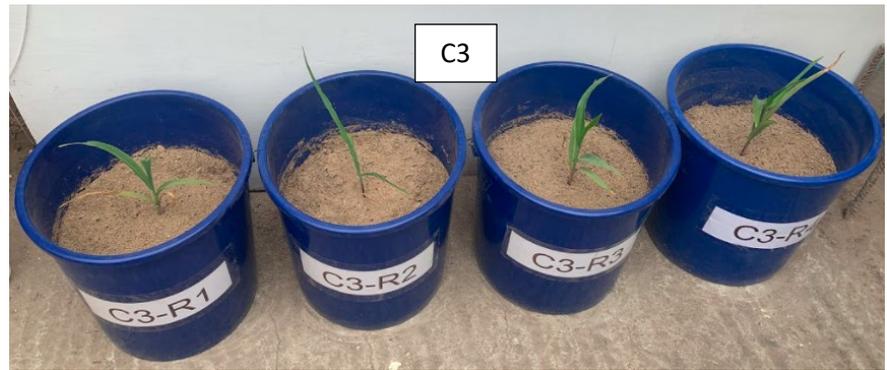
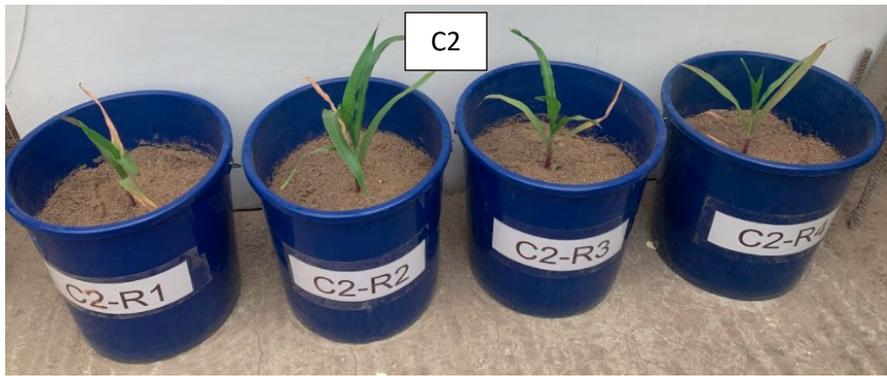
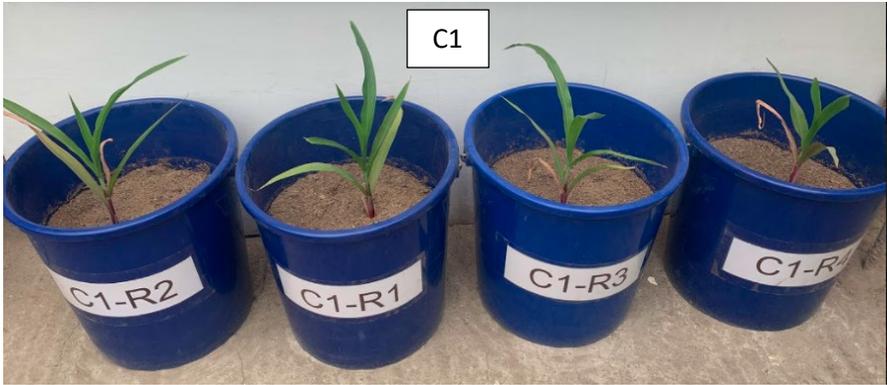
SEMANA 05



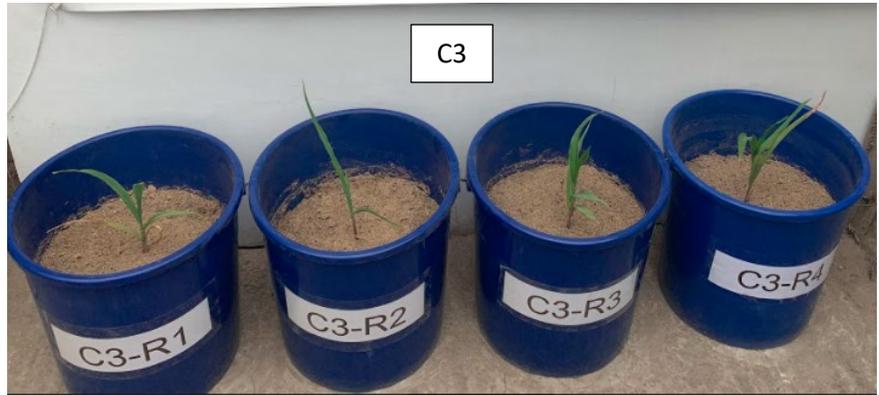
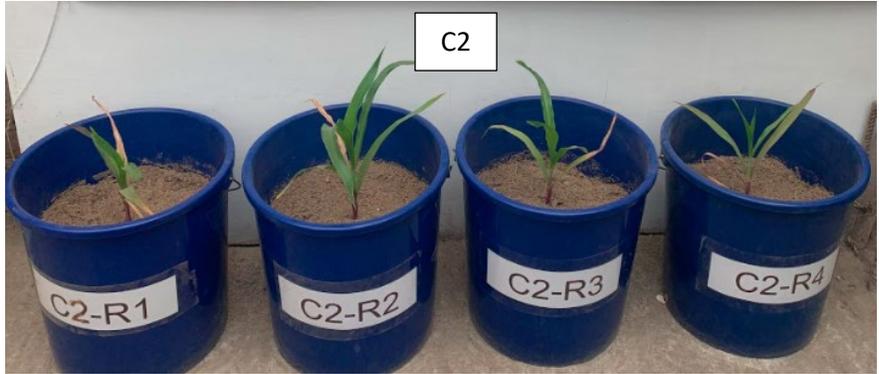
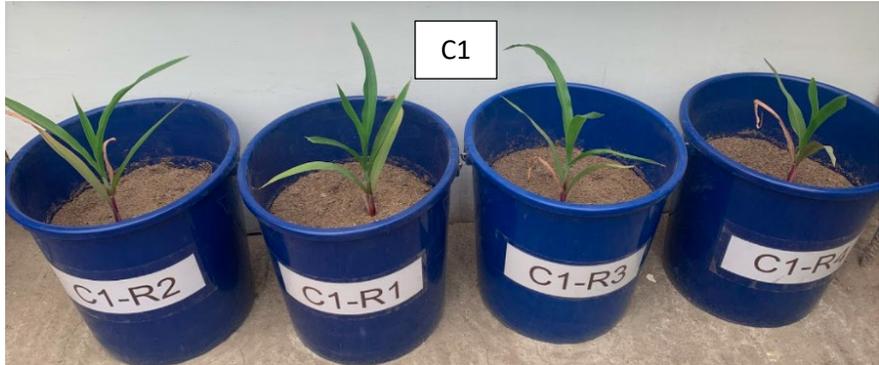
SEMANA 06



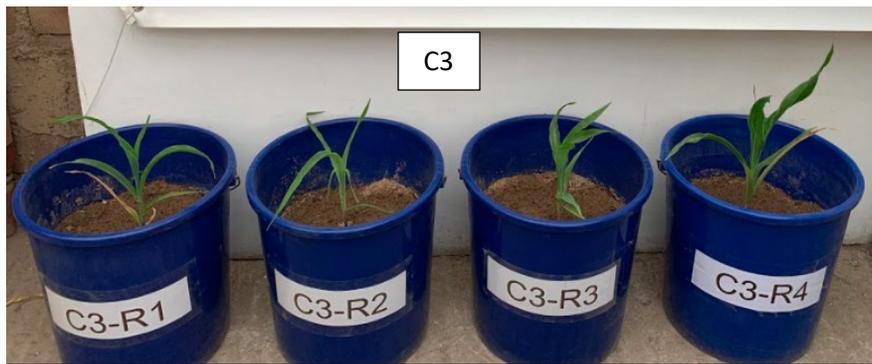
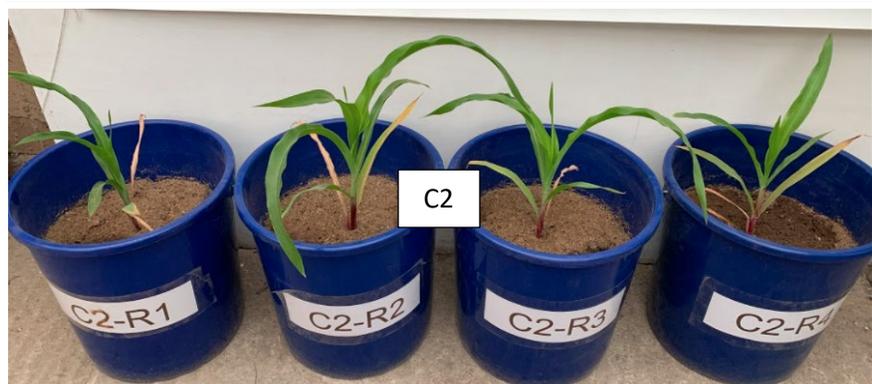
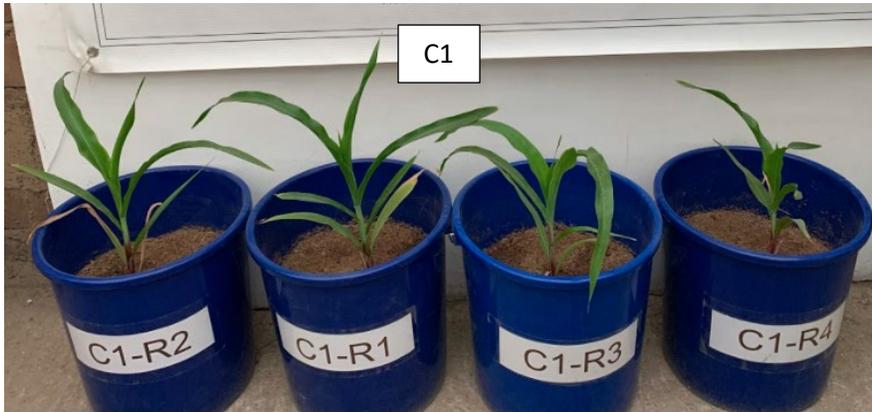
SEMANA 07



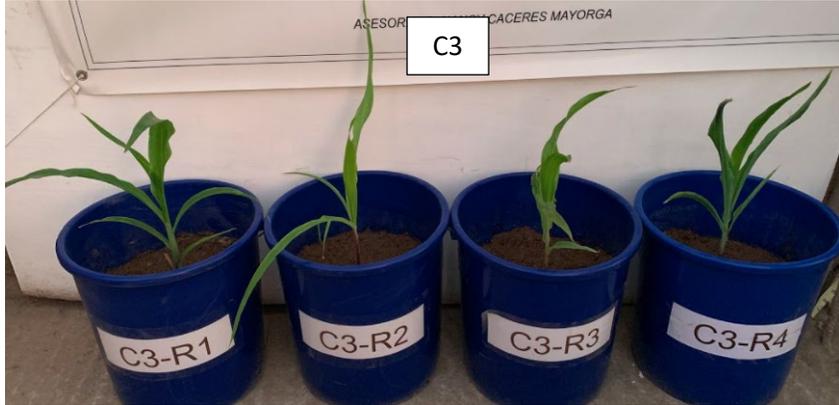
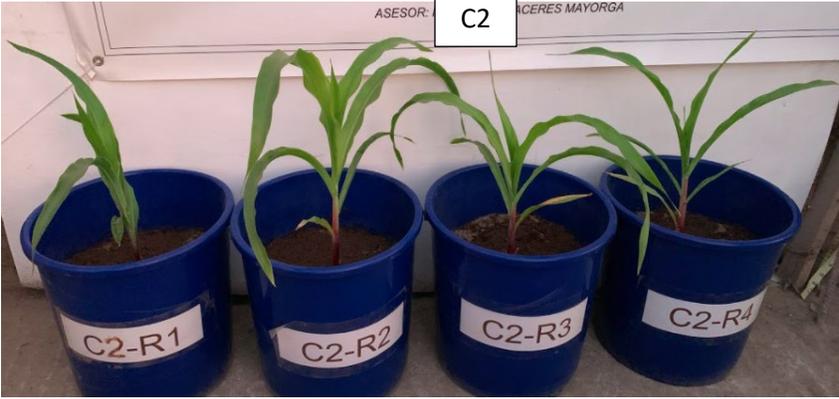
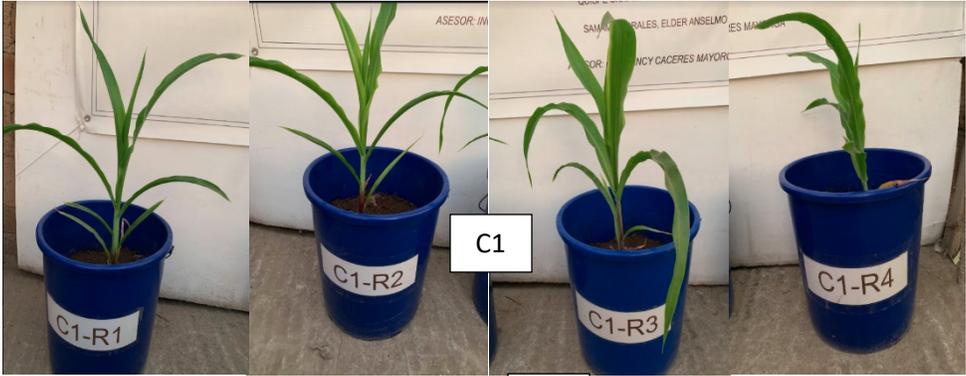
SEMANA 08



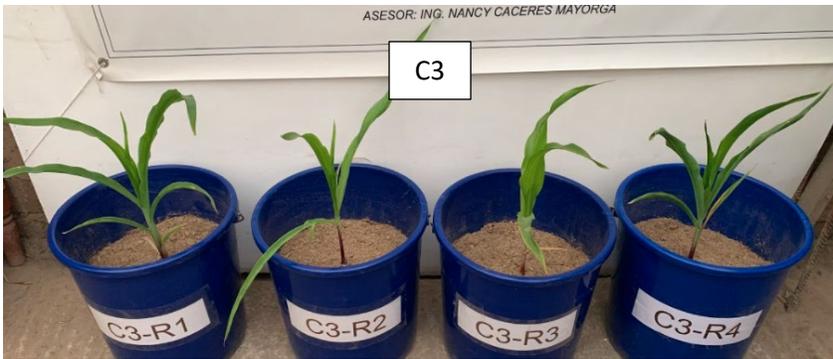
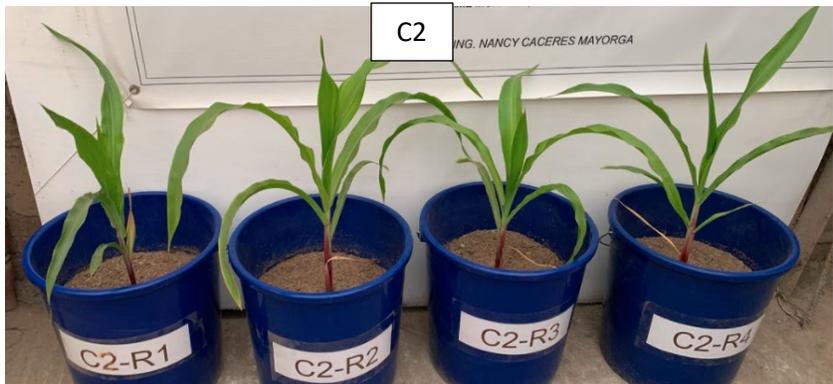
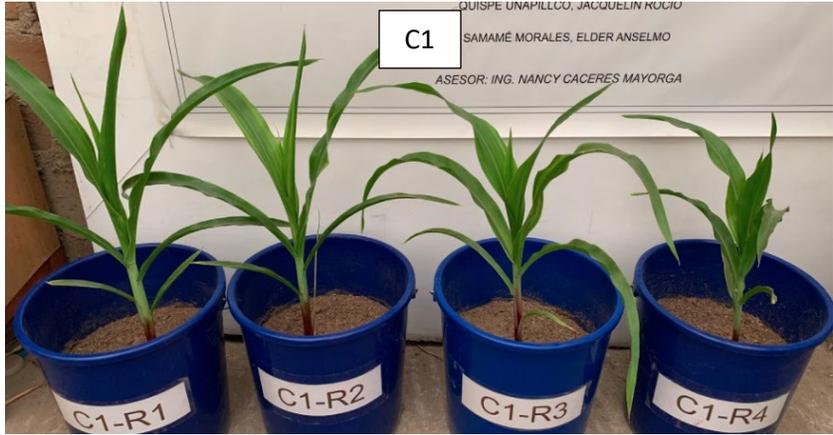
SEMANA 09



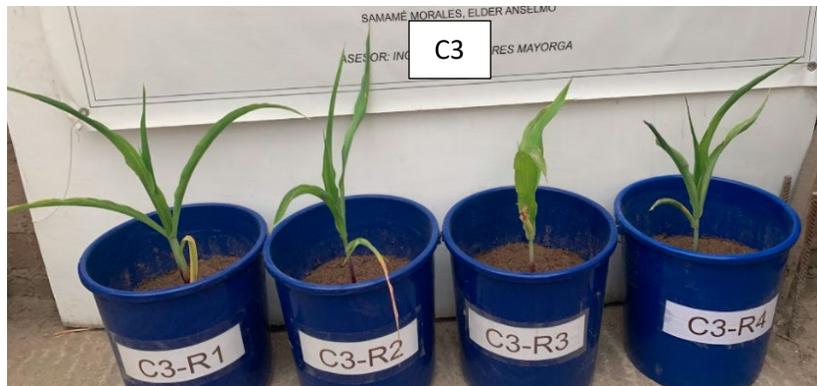
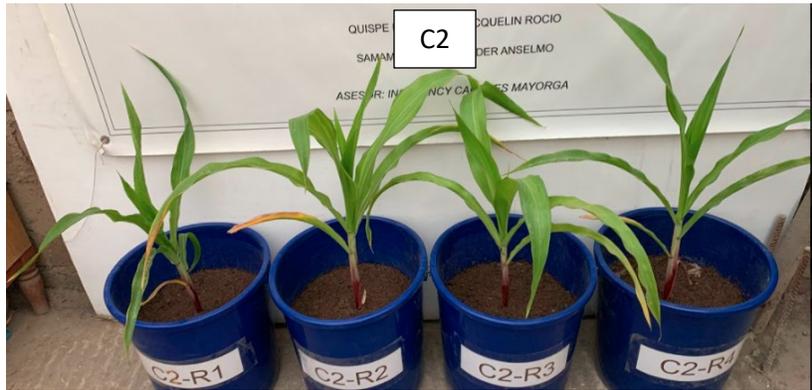
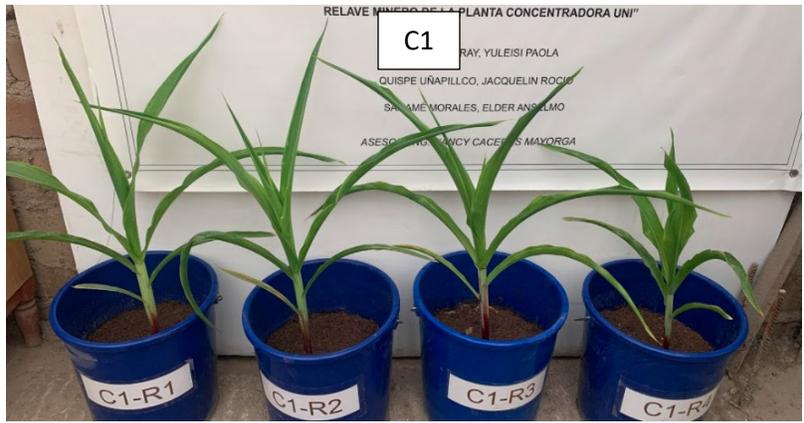
SEMANA 10



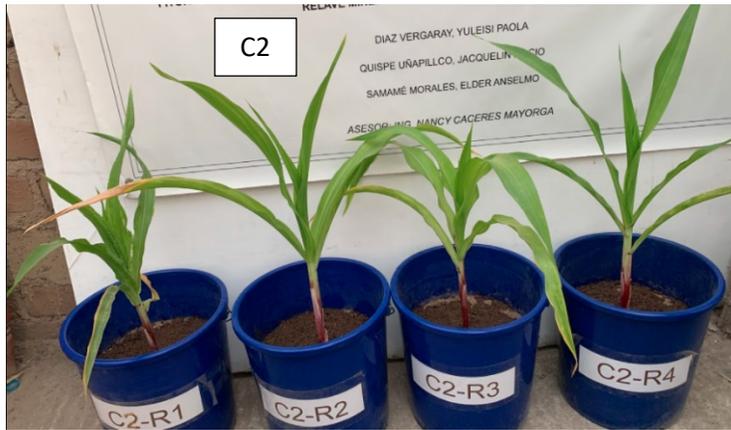
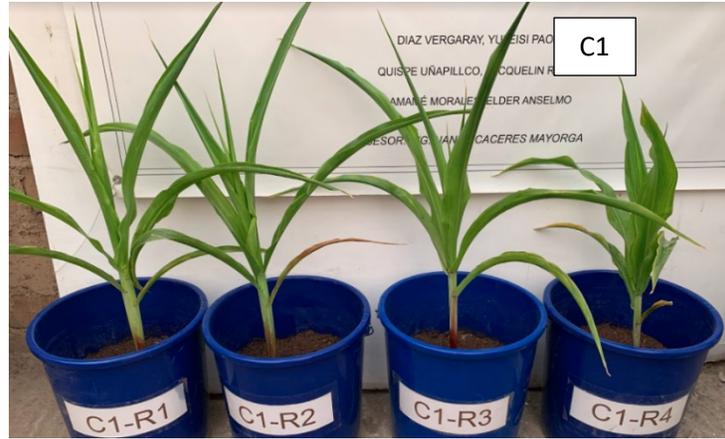
SEMANA 11



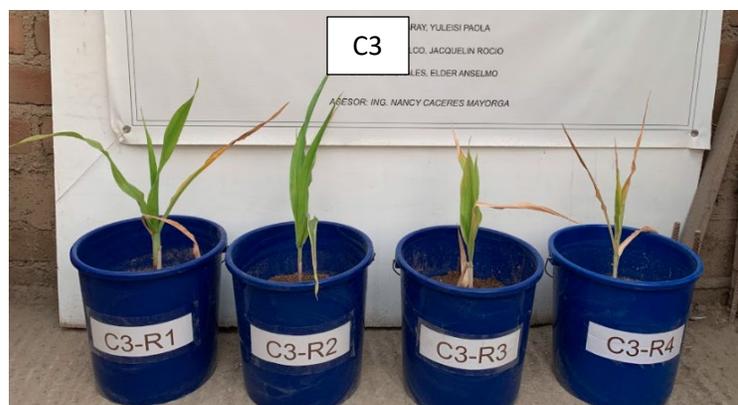
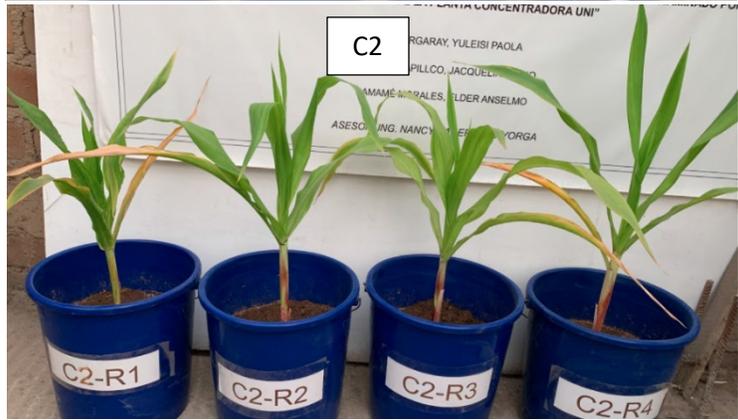
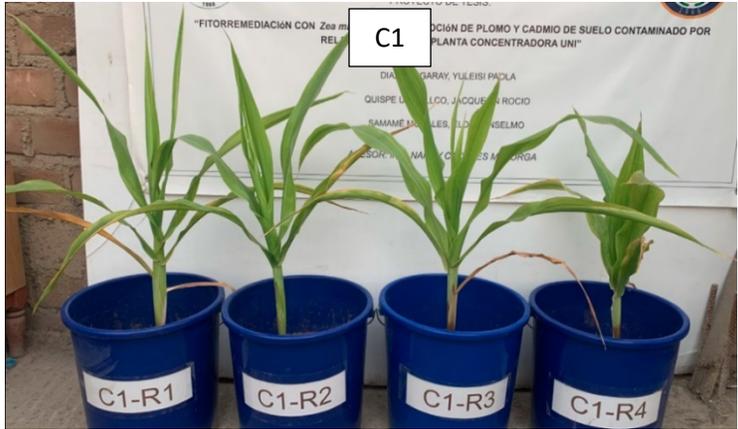
SEMANA 12



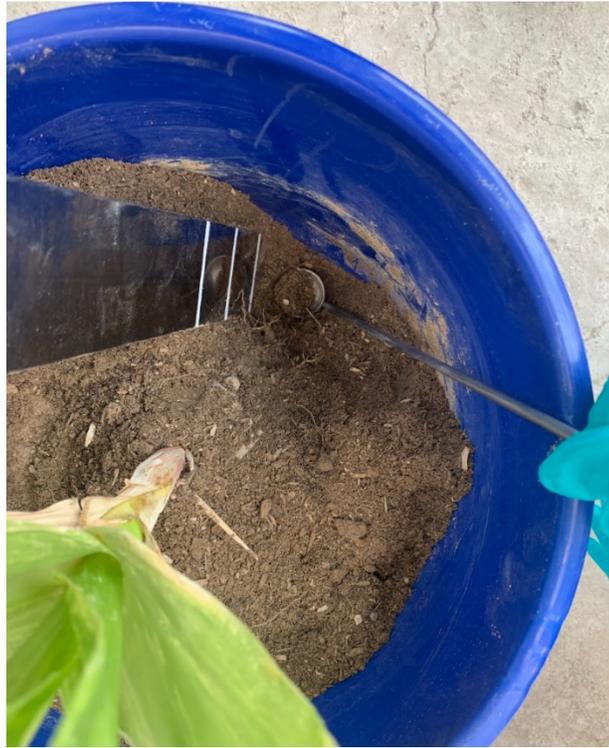
SEMANA 13



SEMANA 14



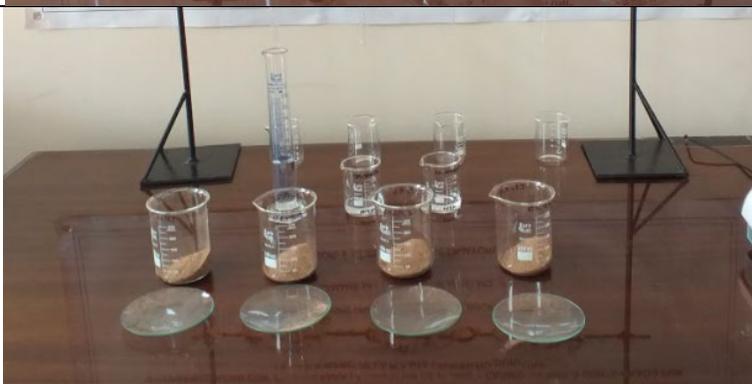
TOMA DE MUESTRAS PARA MEDICIÓN DE pH



PESADO DE MUESTRA



SE AGREGA AGUA DESTILADA A LA MUESTRA DE SUELO POR CADA CONCENTRACIÓN



FILTRADO DE LA MEZCLA POR CADA CONCENTRACIÓN Y REPETICIÓN



MEDICIÓN DE pH CON EL POTENCIÓMETRO



Calibración de Potenciómetro

1. Potenciómetro y soluciones a calibrar pH 4.01 y pH 7.01



2. Potenciómetro modo Calibración, nos indicará el orden a calibrar.



3. Potenciómetro indica usar (solución) pH = 4.01



4. Potenciómetro indica usar (solución) pH = 7.01



Pesado de 250 gr de muestra: C1-R1, C1-R2, C1-R3 y C1-R4



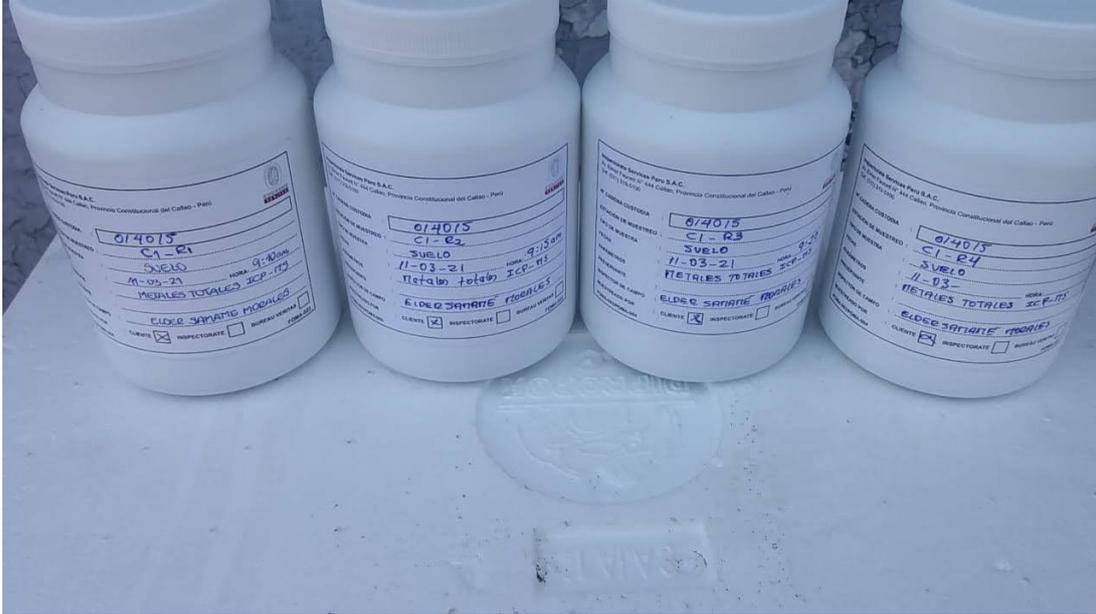
Pesado de 250 gr de muestra: C2-R1, C2-R2, C2-R3 y C2-R4



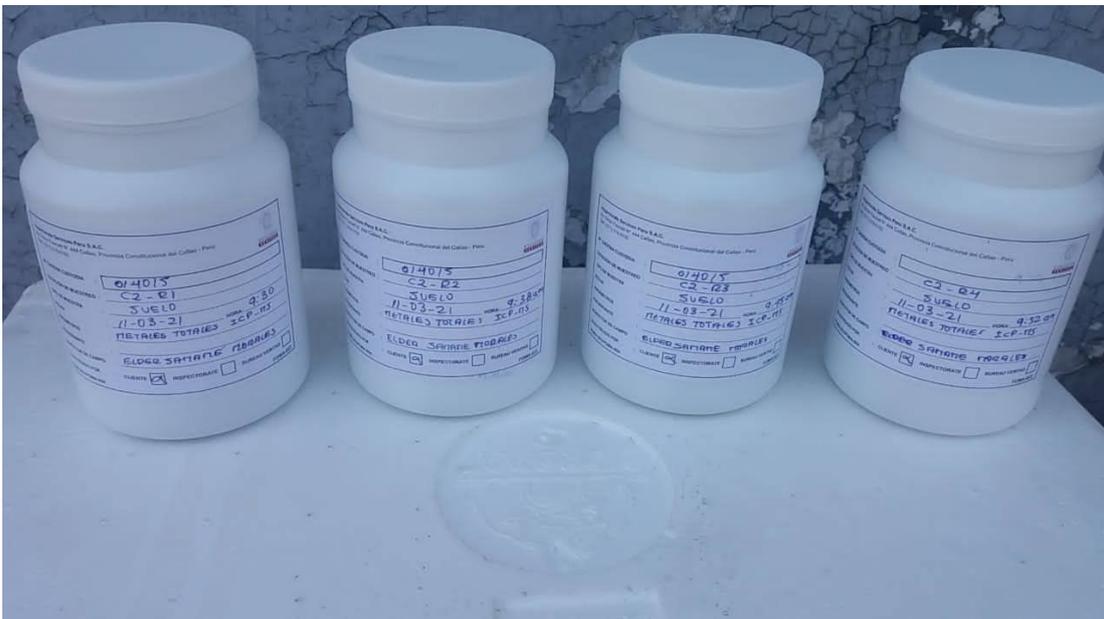
Pesado de 250 gr de muestra: C3-R1, C3-R2, C3-R3 y C3-R4



Ingreso a laboratorio: Muestra final C1-R1, C1-R2, C1-R3 y C1-R4



Ingreso a laboratorio: Muestra final C2-R1, C2-R2, C2-R3 y C2-R4



RECOLECCION DE DATOS

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE Pb y Cd

Proyecto de Investigación	“FITORREMEDIACIÓN CON <i>Zea mays</i> PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DE SUELO CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA UNI”
----------------------------------	---

Concentración	Repeticiones	Concentración Inicial		Concentración Final	
		Fecha: 06/01/2021		Fecha: 11/03/2021	
		Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
C1	R1	6.00	2679.07	5.38	2280.08
	R2	6.00	2679.07	5.37	2414.05
	R3	6.00	2679.07	5.2	2440.05
	R4	6.00	2679.07	5.39	2429.17
C2	R1	12.00	5204.00	10.48	4901
	R2	12.00	5204.00	10.98	4923.92
	R3	12.00	5204.00	10.16	5042.25
	R4	12.00	5204.00	10.97	4965.28
C3	R1	15.99	7786.89	15.16	7257.48
	R2	15.99	7786.89	14.97	7326.15
	R3	15.99	7786.89	16.17	7433.31
	R4	15.99	7786.89	16.28	7418.74

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Proyecto de Investigación	“FITORREMEDIACIÓN CON Zea mays PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO DE SUELO CONTAMINADO POR RELAVE MINERO DE LA PLANTA CONCENTRADORA UNI”
----------------------------------	--

Lugar	Las Begonias Carabayllo	Nº de semana		Fecha	
--------------	-------------------------	---------------------	--	--------------	--

Concetración	Repeticiones	Germinación (und)	Longitud de tallo (cm)	Longitud de hoja (cm)	Cantidad de hojas	pH	Color de hojas (Código)	Observación
C1	R1							
	R2							
	R3							
	R4							
C2	R1							
	R2							
	R3							
	R4							
C3	R1							
	R2							
	R3							
	R4							