

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

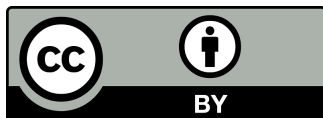
**Biorremediación con “Medicago sativa” (Alfalfa) para
suelos contaminados con cromo (VI)**

Flor de Liz Jordan Llave
Milka Zhuley Zegarra

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Frank Denis Torres Huaco
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 3 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

BIORREMEDIACIÓN CON "Medicago sativa" (ALFALFA) PARA SUELOS CONTAMINADOS CON CROMO (VI)

Autores:

1. Flor de Liz Jordan Llave – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Milka Zhuley Pizarro Zegarra – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 12 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|--|--|-----------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):30 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☒ | NO ☐ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de tesis, brindándonos su apoyo, conocimientos y confianza a lo largo de este proceso.

En primer lugar, agradecemos al profesor Guido Cuadros, por su constante disposición y apoyo fundamental en el desarrollo de nuestra investigación. Su acompañamiento fue clave para enriquecer el rigor científico de nuestro trabajo.

Agradecemos también a la señorita Winnie Mejía, por su valiosa colaboración en la provisión de instrumentos y asistencia en la infraestructura del laboratorio. Su apoyo técnico y logístico fue esencial para la correcta ejecución de las actividades experimentales.

Nuestro agradecimiento se extiende a la gerencia de la Universidad Continental, sede Arequipa, por el respaldo institucional brindado, tanto en el financiamiento de los análisis de muestras como en la cesión de espacios adecuados para el desarrollo del proyecto. Su compromiso con la investigación académica fue un pilar importante en la culminación de esta tesis.

A todos ellos, les expresamos nuestra profunda gratitud por haber contribuido significativamente a este logro académico.

DEDICATORIA

Con profundo agradecimiento y emoción, dedicamos este trabajo a Dios, fuente inagotable de sabiduría, fortaleza y guía en cada paso de este camino. Su presencia constante nos sostuvo en los momentos de dificultad y nos dio esperanza para seguir adelante.

A nuestras familias, pilares fundamentales en nuestras vidas, por su amor incondicional, paciencia, comprensión y apoyo constante. Cada palabra de aliento y cada gesto de confianza fueron esenciales para alcanzar esta meta.

A nuestros queridos amigos, por estar a nuestro lado, compartir nuestras alegrías y brindarnos ánimo en los momentos de incertidumbre. Su compañía fue un impulso invaluable durante este proceso.

Y a nuestro asesor de tesis, por su dedicación, orientación y compromiso. Su acompañamiento profesional y humano fue clave para convertir este proyecto en una realidad.

A todos ustedes, gracias por creer en nosotras. Este logro también es suyo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1 Problema general	2
1.1.2 Problemas específicos	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación e importancia	3
1.4 Delimitación del proyecto.....	4
1.5 Hipótesis	5
1.6 Variables	5
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	11
2.2 Bases teóricas.....	13
2.2.1 Datos generales sobre la producción de cuero en el mundo y en el Perú	13

2.2.2	El proceso de curtiembre: principales métodos y descripción del método utilizado en el Perú.....	14
2.2.3	Contaminantes producidos por la curtiembre	22
2.2.4	Efectos del cromo y cromo (VI)	24
2.2.5	Métodos de tratamiento de efluentes de curtiembre	24
2.2.6	Fitorremediación de cromo	25
2.2.7	Medicago sativa como agente biorremediador de cromo	25
CAPÍTULO III.....		28
METODOLOGÍA.....		28
3.1	Método y alcance de la investigación	28
3.1.1	Método	28
3.2	Diseño de la investigación	28
3.3	Población y muestra.....	29
3.4	Metodologías.....	29
3.4.1	Toma de muestra de efluente de curtiembre y preparación para su aplicación	29
3.4.2	Unidad experimental	29
3.4.3	Medición de temperatura ambiental, humedad y radiación fotosintéticamente activa (RFA).....	31
3.4.4	Medición de parámetros de suelo, temperatura y conductividad	31
3.4.5	Medición de cromo total y cromo (VI) en suelo	31
3.4.6	Medición de características morfológicas de la alfalfa. (altura, medidas de hojas).....	32
3.4.7	Medición de la concentración de cromo en la alfalfa	32
3.4.8	Técnicas de análisis de datos	33
CAPÍTULO IV		34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
4.1	Presentación de resultados	34
4.1.1	Principales condiciones ambientales In loco.....	34
4.1.2	Caracterización del sistema de experimentación	37

4.1.3	Evaluación de los efectos de efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio en plantas de Medicago sativa	42
4.2	Discusión de resultados.....	46
CAPÍTULO V		57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		57
5.1	Conclusiones.....	57
5.2	Recomendaciones	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		59
ANEXOS		70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables.	6
Tabla 2.	Taxonomía de <i>Medicago sativa</i>	26
Tabla 3.	Características morfológicas de <i>Medicago sativa</i>	26
Tabla 4.	Características fisiológicas de <i>Medicago sativa</i>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del área en la que se realizó el experimento.	4
Figura 2.	Primeros países exportadores de la industria del cuero a nivel mundial.....	13
Figura 3.	Proceso de curtido con sales de cromo.	18
Figura 4.	Proceso de curtido con agentes vegetales.	20
Figura 5.	Contaminantes producidos por la curtiembre..	23
Figura 6.	Características morfológicas de Medicago sativa.	26
Figura 7.	Contenedor metálico del diseño experimental.	30
Figura 8.	Fotografía del interior de la unidad experimental.	30
Figura 9.	Variación diurna de la temperatura ambiental en el lugar de experimentación. ...	34
Figura 10.	Humedad relativa.	35
Figura 11.	La radiación fotosintética activa	36
Figura 12.	Unidades de experimentación desarrollados en 6 cilindros.	38
Figura 13.	Temperatura del suelo de las unidades experimentales.	39
Figura 14.	Conductancia del suelo de las unidades experimentales.	40
Figura 15.	Cromo total en el suelo de las unidades experimentales.	41
Figura 16.	Cromo total en muestras de suelo superficial y profundo.	42
Figura 17.	Evaluación de cromo total en plantas de Medicago sativa.....	43
Figura 18.	Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre.	44
Figura 19.	Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre.	45

RESUMEN

En Arequipa, la industria del cuero es uno de los motores económicos importantes en la región, pero el impacto ambiental es significativo; debido a ello, el objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de la especie *Medicago sativa* como agente fitorremediador de cromo presente en los efluentes de curtiembre utilizando un sistema experimental escalable.

La evaluación fue realizada en una unidad experimental, cuyo diseño permitió determinar algunos parámetros del suelo cuando regado con efluentes provenientes de curtiembres ubicadas en el PIRS. El diseño experimental estuvo constituido por 6 unidades experimentales: dos controles negativos (solo suelo; suelo + planta), dos tratamientos con efluentes (suelo + planta; 3 litros de efluente) y dos controles positivos (solo suelo regado con efluente; suelo + planta regada con 3 litros de $K_2Cr_2O_7$, 33ppm). Fueron evaluados en el suelo los parámetros de conductancia, pH, sólidos suspendidos totales; además, fue determinado el nivel de cromo total. En las plantas fueron medidos el crecimiento del tallo, la raíz, las dimensiones de las hojas y el nivel de cromo.

Los resultados muestran que, en las condiciones experimentales, plantas de *M. sativa* mantienen estable los parámetros fisicoquímicos de pH y conductancia del suelo y remueven el 50% de cromo total, sin sufrir efectos colaterales. Además, la estructura del suelo tiene un impacto importante en la distribución de los contaminantes.

El sistema experimental permite estudiar diferentes variables importantes que intervienen en el proceso de fitorremediación y ha demostrado que se puede utilizar mayor volumen de efluentes de curtiembres.

Palabras clave: *Medicago sativa*, curtiembres, cuero, fitorremediación, fisicoquímica.

ABSTRACT

In Arequipa, the leather industry is one of the region's most important economic drivers, but its environmental impact is significant. Therefore, the objective of this study is to evaluate the potential of *Medicago sativa* as a phytoremediation agent for chromium present in tannery effluents using a scalable experimental system.

The evaluation was carried out in an experimental unit designed to determine some soil parameters when irrigated with effluent from tanneries located in the PIRS (Regional Zone of the Region of Arequipa). The experimental design consisted of six experimental units: two negative controls (soil only; soil + plant), two effluent treatments (soil + plant; 3 liters of effluent), and two positive controls (soil only irrigated with effluent; soil + plant irrigated with 3 liters of $K_2Cr_2O_7$, 33 ppm). Soil conductance, pH, and total suspended solids were evaluated, and total chromium levels were also determined. Stem and root growth, leaf size, and chromium levels were measured in the plants.

The results show that, under experimental conditions, *M. sativa* plants maintain stable physicochemical parameters of soil pH and conductance and remove 50% of the total chromium, without suffering side effects. Furthermore, soil structure has a significant impact on the distribution of contaminants.

The experimental system allows for the study of several important variables involved in the phytoremediation process and has demonstrated that a larger volume of tannery effluent can be utilized.

Keywords: *Medicago sativa*, tanneries, leather, phytoremediation, physicochemistry.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se aborda un problema medio ambiental de gran importancia en la Ciudad de Arequipa, que en la última década representa un daño significativo para la salud y ecosistema de la comunidad.

La industria de curtiembre en la ciudad se encuentra desarrollada principalmente en el Parque Industrial de Rio Seco y genera una alta cantidad de efluentes provenientes de sus procesos, los cuales son altamente contaminantes, lamentablemente no son tratados de manera eficiente y, finalmente, son vertidos de manera indiscriminada en las lagunas de oxidación del distrito Cerro Colorado.

Este problema origina la necesidad de encontrar una solución mediante alternativas y oportunidades de mejora en los procesos de tratamiento de tales efluentes. Es por ello que el objetivo principal de la investigación es determinar la capacidad biorremediadora de la especie herbácea *Medicago sativa* comúnmente llamada alfalfa, proponiendo un sistema de bioremediación de suelos contaminados con efluentes provenientes de la industria de curtiembres. La investigación está conformada por cuatro capítulos desarrollados, los cuales son:

El primer capítulo describe el planteamiento del problema de manera local, haciendo énfasis en el impacto negativo en el ámbito social y medio ambiental. Asimismo, se plantea la justificación del desarrollo de la investigación y considera los objetivos de desarrollo sostenible como pilares de la investigación. También se presenta la delimitación del proyecto y el desarrollo del sistema; por último, se determina la hipótesis de la investigación y la operacionalización de variables. En el segundo capítulo se aborda el marco teórico de la investigación, desde los antecedentes internacionales y nacionales que aportan de manera significativa un sostén y soporte para el desarrollo de la investigación. También se desarrolla la revisión de diferentes fuentes para el establecimiento de las bases teóricas, identificando datos generales de la producción del cuero en el Perú y el mundo; además, se reconocen los principales métodos de curtiduría, identificando las entradas y salidas del proceso. De igual manera, se da un especial énfasis en las características del efluente y del agente biorremediador de estudio (alfalfa).

Dentro del tercer capítulo se plantea la metodología del estudio, siendo el desarrollado por Hernández, Fernández y Batista base de la investigación. Se determina también el diseño de la investigación, al igual que la población y muestra. Asimismo, se desarrolla de manera detallada el método del sistema, desde la toma de muestra de los efluentes en el área donde se encuentran

las lagunas de oxidación, la implementación de las unidades experimentales dentro de contenedores metálicos, las condiciones de siembra y crecimiento de nuestros agentes biológicos y la posterior medición de parámetros ya determinados para demostrar la capacidad biorremediadora de la alfalfa.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados alcanzados determinados por medio de gráficos desarrollados a partir de data recabada durante el periodo de experimentación y resultados de pruebas en laboratorio. De la misma manera, se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos haciendo uso de fuentes científicas para dar cuerpo a los fundamentos presentados. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

En Arequipa, la industria enfocada en la producción de curtiembres (proceso mediante el cual las pieles de animales, por lo general ovinos, bovinos y porcinos, son convertidas en cuero) generan, por una parte, crecimiento y desarrollo para la región; sin embargo, desde el enfoque ambiental se evidencia también un incremento en la contaminación del medio ambiente en mayor grado suelos y agua.

En el transcurso de este proceso, de todo el material con el que se trabaja solo una fracción llega a ser transformado en el producto final. Lazo (1) indica que solamente un 20% del material bruto es aprovechado, el resto de material evidentemente se desecha mediante residuos sólidos y efluentes. En los efluentes, además de materia orgánica, se encuentra un contaminante altamente tóxico: el cromo (VI), que proviene de las sales de cromo empleadas en el proceso de curtido. Este método es muy eficaz para la fabricación de cuero de alta calidad.

De acuerdo a Chaudhary et al. (2), el proceso de curtido de cuero con sales de cromo es altamente eficiente, sin embargo, Cordova (3) indica que entre el 20 y el 40 % del cromo se pierde directamente en los efluentes. Cuando estos efluentes entran en contacto con el suelo, deterioran gravemente su calidad y alteran el equilibrio de los ecosistemas, volviéndolos inutilizables. Además, generan impactos significativos en la salud pública y el medio ambiente.

La situación actual de los efluentes generados por las curtiembres en el Parque Industrial de Río Seco (PIRS), situado en el distrito de Cerro Colorado, ha superado la capacidad de las lagunas de oxidación (1). Por otro lado, el crecimiento urbano se ha incrementado de manera dramática, aumentando los riesgos a la salud pública. A pesar de que en la literatura se han descrito posibles métodos para el tratamiento de los efluentes, Patiño (4) sostiene que estas soluciones no han demostrado ser escalables para manejar los volúmenes actuales. Además, Otiniano (5) señala que es crucial tener en cuenta las limitaciones de estos sistemas en términos de costos, implementación y operación. Estas restricciones deben ser evaluadas en el contexto de la producción de cuero, dado que la mayoría de la producción se realiza en escalas artesanales y pequeñas, además de algunas fábricas de tamaño mediano.

Así, a pesar del impacto ambiental innegable de los efluentes generados en la producción de cuero, aún no se ha propuesto una alternativa viable para su tratamiento. Por lo tanto, en esta

investigación se evalúa la capacidad de la alfalfa (*Medicago sativa*) para remediar suelos contaminados con cromo (VI).

1.1.1 Problema general

¿Es posible biorremediar suelos contaminados con cromo (VI) mediante la utilización de alfalfa (*Medicago sativa*)?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la principal fuente del cromo (VI) contaminante de suelos?
- b) ¿Cuál es el impacto generado en el suelo por el cromo (VI)?
- c) ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas de los suelos contaminados con cromo (VI)?
- d) ¿Cuáles son las propiedades de la alfalfa (*Medicago sativa*)?
- e) ¿Cómo se puede evaluar la capacidad biorremediadora de la alfalfa (*Medicago sativa*)?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la capacidad biorremediadora de la alfalfa (*Medicago sativa*) en suelos contaminados con cromo (VI).

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la concentración de cromo (VI) en el suelo de las unidades experimentales regadas con efluentes de curtiembre y solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$).
- b) Analizar las propiedades físicas y químicas de los suelos de las unidades experimentales regadas con efluentes de curtiembre y solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$).
- c) Identificar los efectos del cromo (VI) sobre características morfológicas de la alfalfa de las unidades experimentales regadas con efluentes de curtiembre y solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$).
- d) Evaluar la capacidad de bioacumulación de cromo (VI) de la alfalfa (*Medicago sativa*) de las unidades experimentales regadas con efluentes de curtiembre y solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$).

1.3 Justificación e importancia

La justificación de esta investigación se debe a la problemática inherente al sector económico de las curtiembres, que a pesar de que es una fuente de ingreso importante para la población local, los residuos producidos afectan negativamente la calidad ambiental en la ciudad de Arequipa. Es importante destacar que los efluentes de esta actividad, al filtrarse y entrar en contacto con los suelos, los vuelven completamente infértiles, causando daños graves a la salud humana, como reacciones alérgicas y problemas en el tracto digestivo y respiratorio.

Asimismo, se están considerando los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la ONU, con el fin de que este proyecto de investigación pueda impactar y alinearse con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:

- El objetivo 3 busca reducir de manera significativa el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.
- El objetivo 6 busca mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertimientos y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos. También se propone reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar, aumentar significativamente el reciclaje y la reutilización sin riesgos a nivel mundial, así como mejorar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y asegurar la sostenibilidad en su extracción.
- El objetivo 9 busca modernizar procesos productivos para que sean sostenibles, optimizando el uso de los recursos y fomentando la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y respetuosos con el medio ambiente.
- El objetivo 12 busca lograr una gestión ecológicamente racional de los productos químicos y desechos durante todo su ciclo de vida, de acuerdo con los marcos internacionales acordados. También pretende reducir significativamente la liberación de estos productos a la atmósfera, el agua y el suelo para minimizar sus efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Además, se enfoca en reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclaje y reutilización.

Por esta razón, la investigación desarrollada se centra en la implementación de un proceso de biorremediación, una técnica económica que no causa daños secundarios a los seres vivos ni al medio ambiente. La propuesta del estudio es ofrecer una solución sostenible al problema mediante la aplicación de la biorremediación con *Medicago sativa* (alfalfa). Evaluamos la

capacidad de esta planta para eliminar el cromo (VI) de suelos contaminados con el objetivo de contribuir a la recuperación de áreas afectadas.

Los resultados de permitirán desarrollar una tecnología de biorremediación de bajo costo y fácil implementación, aplicable en diversos contextos para reducir los efectos nocivos de los metales pesados. Además, promueve el uso de soluciones basadas en la naturaleza para abordar problemas ambientales.

1.4 Delimitación del proyecto

Para la ejecución de la investigación se inicia desde la implementación de un sistema de biorremediación a escala, donde el factor principal es emplear una especie herbácea *Medicago sativa* normalmente conocida como alfalfa.

Tal sistema será desarrollado en un área específica dentro de las instalaciones de la Universidad Continental (Coordenadas UTM: Z:19K – E:230366.735 – N:8183724.990).

La experimentación fue realizada en un periodo establecido de 10 semanas y fue dividido en dos etapas (pre-experimentación y experimentación).



Figura 1. *Ubicación del área en la que se realizó el experimento. Tomada de Google MAPS, 2024*

Se establecerán 6 unidades experimentales, en las cuales se verterán una cantidad de suelo homogeneizado previamente proveniente de un área agrícola de la ciudad; asimismo, en 4 de las unidades se realizará un trasplante de nuestros agentes biológicos y se someterán a un periodo de aclimatación (pre-experimentación) y posteriormente empezará la etapa de

vertimiento de efluentes (experimentación), es allí donde se evaluará la capacidad biorremediadora de estas especies frente a efluentes provenientes de procesos de curtiduría.

1.5 Hipótesis

La especie herbácea *Medicago sativa*, tiene la capacidad de remover el 50 % del cromo (VI) presente en suelos contaminados por este metal.

1.6 Variables

- a) Variable independiente: efluentes
- b) Variable dependiente: calidad de suelos contaminados, *Medicago sativa* (alfalfa)

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variable	Dimensión	Definición conceptual	Indicador	Unidad
Independiente	Efluentes	Efluentes generados por procesos de curtiduría	Componentes químicos	Litros de efluentes
	Presencia de Cromo (VI) en suelos	A través de esta dimensión se podrá reconocer la composición de los efluentes generados en los procesos de curtiduría. A través de esta dimensión se reconocerá la presencia de Cr (VI) en los suelos.	Cromo presente en suelos	mg/kg
	Calidad de suelos contaminados	A través de esta dimensión se identificarán las propiedades físicas y químicas de suelos contaminados con Cromo (VI)	Humedad Temperatura Ph	% °C No tiene
Dependiente	Medicago sativa (alfalfa)	Características morfológicas de Medicago sativa (alfalfa)	Conductancia Eléctrica Longitud de hojas Ancho de hojas Largo de hojas Longitud del Tallo Florescimiento	mS/cm cm cm cm cm cm
		Capacidad de bioacumulación de Medicago sativa (alfalfa)	Cromo (VI)	mg/kg

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

En la investigación de Gardea et al. (6), refiere que en estudios previos en laboratorio utilizando experimentos en lotes con *Medicago sativa* (alfalfa) se han demostrado que las poblaciones de brotes africanos de esta planta tienen una excelente capacidad para adsorber iones de cobre (II) y níquel (II) de soluciones acuosas. Se llevaron a cabo experimentos adicionales en lotes para evaluar la capacidad de adsorción de los brotes africanos de alfalfa sobre cadmio (II), cromo (III), cromo (VI), plomo (II) y zinc (II), determinando su comportamiento en distintos perfiles de pH, tiempos de contacto y capacidad de adsorción. Los resultados indicaron que el pH óptimo para la adsorción de estos metales es de aproximadamente 5.0. Los ensayos de tiempo de contacto mostraron que la adsorción de los metales ocurrió en un plazo de cinco minutos. Las pruebas de capacidad revelaron que la cantidad de metales adsorbidos por gramo de biomasa fue de 7.1 mg de cadmio, 7.7 mg de cromo (III), 43 mg de plomo y 4.9 mg de zinc, mientras que no se observó adsorción para cromo (VI). Casi todos los metales absorbidos fueron recuperados mediante tratamiento con HCl 0.1M, a excepción del cromo (III). También se realizaron experimentos en columna para estudiar la adsorción de cadmio (II), cromo (III), cromo (VI), plomo (II) y zinc (II) en brotes africanos de alfalfa inmovilizados en sílice bajo condiciones de flujo continuo. Estos experimentos demostraron que la alfalfa inmovilizada fue eficaz para remover iones metálicos de las soluciones acuosas, recuperándose más del 90% del plomo, cobre, níquel y zinc adsorbidos, y más del 70% del cadmio, tras el tratamiento con HCl 0.1M. Estos resultados son relevantes para el desarrollo de una tecnología innovadora de fito-filtración para la remoción y recuperación de iones metálicos pesados en soluciones acuosas.

En la investigación de Tiemann et al. (7) se desarrolla un estudio experimental donde plantas de alfalfa, que previamente fueron recolectadas en el campus de la Universidad Estatal de Nuevo México, pasaron por un proceso de afinidad para la unión multimetal por la biomasa de alfalfa, desarrollado de la siguiente manera: 42.1 mg/g para plomo (II), 11.4 mg/g para cromo (III), 6.5 mg/g para cobre (II), 4.4 mg/g para cadmio (II), 4.3 mg/g para zinc (II) y 0.5 mg/g para níquel (II). Se evidenció que, la alfalfa demuestra gran capacidad de unir iones de cobre, plomo y cromo de una solución multimetálica. Finalmente, se determinó que la información recabada de la investigación es útil para el desarrollo de futuras investigaciones, donde el

objetivo sea innovar en técnicas de eliminación de contaminantes de metales pesados de aguas subterráneas contaminadas.

En la investigación de Karimi, et al. (8), se llevó a cabo un estudio para investigar el potencial de la alfalfa y el sorgo en la fito-remediación de suelos contaminados con cromo. En este experimento, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y se establecieron cinco tratamientos con diferentes concentraciones de cromo que variaron de 0 a 10 mg/kg de suelo. Los tratamientos incluyeron un control (T1) y suelos contaminados con 2 (T2), 4 (T3), 8 (T4) y 10 mg/kg (T5) de cromo. Las plantas de alfalfa y sorgo se cultivaron durante 50 días en macetas con 5 kg de estos suelos. Los resultados mostraron que la concentración de cromo en el suelo, después de la fito-remediación por parte de la alfalfa, disminuyó a 0.74, 1.16, 2.08 y 4.00 mg/kg en los tratamientos T2, T3, T4 y T5, respectivamente. Para el sorgo, las concentraciones fueron de 0.84, 1.36, 2.44 y 5.12 mg/kg en los mismos tratamientos. La disminución de cromo en el suelo fue entre 60-74% para la alfalfa y entre 51.2-69.5% para el sorgo. Estos hallazgos evidencian que, tanto la alfalfa como el sorgo, son plantas acumuladoras efectivas para la fito-remediación de suelos contaminados con cromo, siendo la alfalfa más eficiente en este proceso.

En la tesis de Carreño (9), se tiene como objetivo evaluar capacidad de la macrófita *Lemna minor*, para reducir las cargas de cromo hexavalente y materia orgánica en aguas residuales sintéticas que provienen de termoeléctricas, los experimentos se realizaron en reactores bath de icopor de diámetro 10.5 cm y alto 7.5 bajo condiciones de ambiente (25-27°C) e iluminación de 12 h. El diseño experimental consistió en 15 tratamientos con diferentes concentraciones de cromo (mg/L) y Ácido húmico (mg/L). Los factores con mayor presencia en el proceso de remoción de Cr (VI) fueron la concentración del ácido húmico y la concentración del Cr (VI), con un porcentaje de remoción del metal del 52.71% en un tiempo de 6 días y un porcentaje de remoción de la DQO del 13.60% en un tiempo de 3 días. Para los niveles de concentración de cromo hexavalente evaluados entre 0.5 y 2.0 mg/L, no se evidenció un efecto tóxico severo en la planta presentando una adaptación rápida. En cuanto a la capacidad de la *Lemna minor* de remover el cromo hexavalente, se concluye que concentraciones altas de ácido húmico y valores bajos de biomasa favorece dicho proceso de remoción. La *Lemna minor* puede utilizarse como una herramienta efectiva y sencilla en los procesos de descontaminación del agua con niveles tóxicos típicos de termoeléctricas.

En la investigación de Chen et al (10) tiene como objetivo evaluar la respuesta fisiológica y la fitoacumulación de metales pesados y el arsénico en *Medicago sativa* L. Se cultivo en suelos con diferentes proporciones de relaves ácidos provenientes de las minas de cobre, se observó

que la germinación de las semillas mejoró de un 5% a 10% de relaves, pero esta se inhibía con proporciones mayores como el 30% y 50%, el crecimiento de las plántulas, la integridad de las membranas celulares y la fotosíntesis se vieron afectados en suelos con mayor concentración de relaves. Se detectó un aumento en la actividad de enzimas antioxidantes como la catalasa, superóxido dismutasa y guaiacol peroxidasa, esto indica que el sistema antioxidante no fue afectado y pudo tolerar la toxicidad de los relaves. Las plantas crecieron adecuadamente en suelos con hasta un 50 % de relaves y los metales pesados y arsénico, excepto el mercurio (Hg), se acumulan principalmente en las raíces. La movilidad del Hg hacia los brotes indica un riesgo para los animales que pueden consumir la planta. Los resultados indican que *Medicago sativa* es una especie prometedora para la revegetación y fitoestabilización de suelos contaminados con relaves ácidos de minas de cobre en zonas áridas.

En la investigación de Elfanssi, Ouazzani y Mandi (11), se tiene como objetivo evaluar el efecto del riego con aguas residuales crudas y tratadas sobre el suelo y las plantas, en comparación con el riego con agua de pozo. Se utilizaron tres parcelas sembradas con *Medicago sativa* L., las cuales fueron irrigadas con agua de tres calidades distintas durante un periodo de 9 meses, cubriendo tres ciclos de cultivo. Se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto en el agua como en el suelo, además de rasgos agro-fisiológicos, bioquímicos y de enzimas antioxidantes en los cultivos. Los resultados mostraron un efecto positivo en los parámetros agro-fisiológicos de la alfalfa regada con aguas residuales domésticas en comparación con el agua de pozo. No obstante, los parámetros bioquímicos, como la conductancia estomática, la fluorescencia de clorofila y el contenido total de clorofila, se vieron afectados negativamente en las plantas regadas con aguas residuales crudas en comparación con las aguas tratadas y de pozo. Las plantas regadas con aguas residuales crudas acumularon más prolina y azúcar que las plantas irrigadas con agua tratada o de pozo. Además, la actividad de las enzimas antioxidantes (POD, CAT y MDA) aumentó con el riego de aguas residuales crudas, aunque se mantuvo dentro de los niveles de tolerancia en las plantas irrigadas con aguas tratadas y de pozo. Los tres niveles de tratamiento del agua mostraron un bajo contenido de metales pesados en el suelo, lo que indica una baja disponibilidad para las plantas. Por último, el uso de aguas residuales tratadas mejoró las propiedades fisicoquímicas y la fertilidad del suelo en comparación con el agua de pozo, además de incrementar la productividad de los cultivos.

Asimismo, en la investigación de Moussaoui et al. (12) se realizó un análisis de forma experimental la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas y su impacto en el riego de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo condiciones semicontroladas. Los resultados mostraron que la calidad del agua empleada influyó significativamente en los parámetros del suelo. En

comparación con los suelos regados con agua subterránea; aquellos regados con aguas residuales tratadas mediante lodos activados modificados y aguas residuales crudas presentaron un aumento considerable en la materia orgánica y nutrientes del suelo. La materia orgánica en estos suelos fue entre 3.84 y 5.37 veces mayor, el nitrógeno Kjeldahl entre 2.81 y 3.50 veces mayor, y el fósforo total entre 3.25 y 4 veces mayor. Además, la calidad del agua afectó el crecimiento de la alfalfa y la absorción de macro y microelementos, con un mayor rendimiento observado en las plantas regadas con aguas residuales tratadas y crudas. Sin embargo, también se encontró una mayor concentración de elementos metálicos trazados en comparación con los suelos regados con agua subterránea.

En la investigación realizada por Christou et al. (13), se tiene como objetivo investigar y consecuentemente evaluar los efectos de la exposición de Cromo Hexavalente Cr(VI) en el crecimiento, desarrollo de plantas de alfalfa, las cuales fueron regadas por periodos determinadas con agua contaminada, asimismo, se observaron las respuestas de defensa de estas especies. La experimentación se realizó dentro de un invernadero donde las plantas de alfalfa fueron cultivadas en suelo agrícola y se mantuvieron bajo condiciones climáticas mediterráneas, para luego ser expuestas al riego con el contaminante Cr (VI) proveniente de una combinación de agua del grifo y concentraciones crecientes de $K_2Cr_2O_7$ (0.05, 0.5, 1, 5 y 10 mg/L). Los resultados de la investigación denotaron que, las plantas de alfalfa sometidas a bajas concentraciones de Cr (VI) no presentaron síntomas visibles de estrés y la estructura foliar resultó similar al del control; por otro lado, las concentraciones altas si perjudicaron el desarrollo de las plantas de alfalfa, evidenciándose un bajo crecimiento, menores concentraciones de pigmento fotosintético y estrés nitro-oxidativo. La concentración umbral de $K_2Cr_2O_7$ en el agua de riego a partir de la cual se inician las respuestas de estrés en las plantas de alfalfa es de 1 mg/L.

En la investigación desarrollada por Tirry et al. (14), se busca evaluar el efecto de las rizobacterias promotoras del crecimiento de plantas (PGPR) en la tolerancia de la alfalfa (*Medicago sativa*) al cromo hexavalente (Cr (VI)). El estudio se centra en cómo estas bacterias pueden mejorar el crecimiento de las plantas y su resistencia al estrés causado por la contaminación por metales pesados. A través de la inoculación de cuatro aislamientos de PGPR resistentes a Cr (VI), se observó que la alfalfa mostró un aumento significativo en el peso seco de los brotes y raíces, en comparación con las plantas no inoculadas. El aislamiento NT27, identificado como una cepa de *Pseudomonas* sp., fue el más efectivo, logrando un incremento del 97.6% en el peso seco de los brotes y del 95.4% en el de las raíces en presencia de Cr (VI). Además, se registró un aumento en el contenido de clorofila y una reducción en los marcadores

de estrés oxidativo, lo que indica que la asociación *M. sativa*-*Pseudomonas* sp. puede ser un sistema biológico eficiente para la biorremediación de suelos contaminados por Cr (VI).

En la investigación de Wang et al. (15) se buscó evaluar la capacidad de la alfalfa para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, específicamente cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn). En el experimento, las plantas de alfalfa se cultivaron en suelos contaminados durante períodos de 10, 40 y 80 días. Los resultados indicaron que la alfalfa tiene el potencial para la fitorremediación de suelos moderadamente contaminados por Cd, Pb y Zn, demostrando su capacidad para transferir metales pesados de las raíces a los brotes en la fase de plántula. Aunque la biomasa en la fase de maduración fue mayor, no se encontraron diferencias significativas en la biomasa durante los diferentes periodos de crecimiento. La investigación también mostró que, en comparación con los brotes, los niveles de Cd, Pb y Zn en las raíces fueron más altos, y el factor de bioconcentración (BCF) fue superior durante la maduración. Sin embargo, los valores del factor de translocación (TF) fueron bajos y tendieron a disminuir con el incremento de los metales en el suelo.

Dentro del estudio realizado en la investigación Morsy et al. (16) “Phytoremediation of Pb and Cd by Alfalfa (*Medicago sativa* L.): an Applied Study in the Presence of Lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.)”, donde el objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad fitorremediadora de la alfalfa en suelos contaminados con diferentes concentraciones de Pb y Cd, y también el utilizar un extracto proveniente de las plantas de estudio como fertilizante para el cultivo de lechuga; de tal manera, se recolectaron muestras de suelo después de cosechar las plantas de alfalfa y lechuga, y se prepararon para su posterior análisis químico. Los resultados indicaron que la alfalfa es una planta altamente efectiva para procesos de fitorremediación en suelos contaminados con Pb y Cd. Además, el utilizar el extracto proveniente de brotes de alfalfa como fertilizante para los cultivos de lechuga resultó ser beneficioso para su crecimiento, sin riesgo de transferencia de metales pesados. Por ello, se sugiere incluir a la alfalfa en las rotaciones de cultivos, sobre todo en zonas donde los suelos haya o estén siendo contaminados con metales pesados.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la investigación de Gonzales et al. (17), se tiene como objetivo determinar el efecto que tiene la especie *Medicago sativa* en suelo con niveles de cobre, se utiliza una metodología experimental contaminando el suelo con cobre en diferentes cantidades, se tienen 2 tratamientos (T1) y (T2) y uno tercero que es el testigo (T) que contienen cobre; la cantidad de suelo para cada tratamiento es de 72 kg. Los niveles de CuSO₄ que se administraron a cada tratamiento son los siguientes: 0.53 g CuSO₄/kg de suelo (T1) y 0.66 grCuSO₄/kg de suelo (T2). La toma

de resultados se realizó después de 2 meses, los resultados demuestran que en el (T1) pasó de 278 ppm a 124 ppm, (T2) 293 ppm a 143 ppm. La mayor acumulación de cobre es en la raíz con un valor de 78 ppm (T2), mayor que el (T1) con 44 ppm. La acumulación de cobre en los tallos fue 21 ppm (T2), (T1) con 18 ppm. Dados estos resultados se considera a *Medicago sativa* como una planta Fitorremediadora indiferente de los niveles de cobre utilizados.

En la tesis desarrollada por Giraldez (18) se determinó y analizó la capacidad fito- extractora del *Medicago sativa* en suelos afectados por el uso indiscriminado de fertilización sintética, se utilizó una metodología comparativa, se dispuso 3 zonas (parcelas) para el experimento con diferentes densidades de alfalfa las cuales son Baja (P1), Media (P2) y Alta (P3), las muestras de suelos fueron tomadas antes y después para compararlas y obtener resultados. Se (20.65%). P2 Media: cadmio (11.56%), níquel (13.03%) y plomo (5.49%) y P3 Alta: cadmio (34.03%), níquel (16.11%) y plomo (25.93%), estos demuestran que logró extraer del suelo buenas cantidades de metales pesados. *Medicago sativa* tiene un comportamiento como exclusora y estabilizadora para metales pesados en sus raíces, su potencial es fito-estabilizar en raíz más no trasladar los metales pesados a las diferentes partes de la planta, ya que los resultados salieron menores a 1 para los factores bioconcentración y bioacumulación P 1: Cd 0.30, Ni 0.20, Pb 0.19; P2: Cd 0.10, Ni 0.07, Pb 0.05; P3: Cd 0.27, Ni 0.13, Pb 0.24 y en el factor de bio-asimilación igualmente es menor a 1.

En la tesis de Ninapayta (19), tuvo como objetivo determinar la eficiencia del uso de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la disminución de nitratos en suelo afectado por lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos, utiliza una metodología de 3 macetas con diferente porcentaje y así poder evaluar qué maceta obtuvo una mejor absorción. Los resultados demostraron que C1 (maceta 1) logró una eficiencia del 3.8%, C2 (maceta 1) logró una eficiencia del 14.78%, C3(maceta 1) logró una eficiencia del 55.2%, se tomó como parámetro el tiempo de exposición, ya que según los resultados la C3 (maceta 3) refleja una mayor capacidad de absorción.

Finalmente, la tesis realizada por Mendoza (20), tuvo como objetivo conocer el potencial biorremediador de la especie *Medicago sativa* L. “alfalfa “en suelos afectados por plomo, se realiza el análisis en tres macetas con una concentración de plomo diferente , M1 con 70 mg.kg-1 , M2 con 140 mg.kg-1 y M3 con 210 mg.kg-1 , T0 como testigo no contiene concentración de plomo, estas macetas son evaluadas a los 45 y 90 días, se trabaja con bloques en aleatorio con 3 repeticiones , en total son 12 unidades experimentales, estas medias se sometieron a la prueba de significación de Duncan. Los resultados indican que las raíces extrajeron mayor cantidad de plomo a comparación de las hojas o el tallo, este resultado es el mismo a los 45 y 90 días, los resultados califican a la planta *Medicago sativa* L. como fito-estabilizadora.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Datos generales sobre la producción de cuero en el mundo y en el Perú

Según el informe elaborado por el Consejo Nacional del Cuero (CNC) (21), China posee una gran participación en el mercado internacional, representando el 29.8 % del valor global de las exportaciones de productos de cuero. Vietnam, el segundo mayor exportador, acumuló en los últimos años el 13.7 % del valor de las ventas mundiales. Italia, en tercer lugar, aportó el 12.9 % del total. Otros países como Francia, Indonesia y Alemania también consolidaron su posición como importantes exportadores de productos de cuero y pieles. Francia contribuye con el 5,7 % sigue siendo el principal exportador mundial y ha incrementado su influencia desde 2021, su importancia internacional ha disminuido con el tiempo, dado que en 2010 representaba el 45 % del total mundial de exportaciones de cuero y pieles.

Asia aportó el 59 % de las exportaciones globales de artículos de piel y cuero; por otro lado, Europa contribuyó con el 36 %. Mientras Asia presentó un incremento del 5%, Europa presentó una disminución del 5 % en comparación de años anteriores desde la pandemia del coronavirus en 2020. (21)

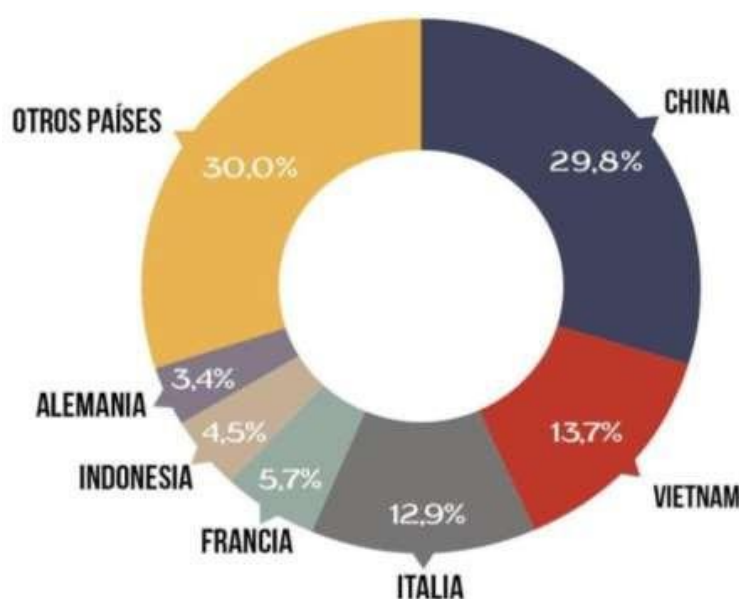


Figura 2. *Primeros países exportadores de la industria del cuero a nivel mundial. Tomado de: "Comercio mundial de cuero. Producción Empresarial" LederPiel, 2024 (21).*

Según Sumita et al. (22), se estima que la industria del cuero a nivel mundial produce alrededor de $1,67 \times 10^9$ m² de cuero cada año. Además, el comercio global del sector del cuero alcanza aproximadamente setenta mil millones de dólares anualmente.

Por otro lado, el Ministerio de la Producción (23) revela un análisis de la situación de la industria del cuero en el Perú en el periodo 2019 - 2023, se presentan los siguientes datos relevantes:

- Mas de 6000 empresas son formales, donde el 99.6% son MYPE.
- Representa el 1.0% del PBI de manufactura, aportando alrededor de 756 millones de soles.
- El 75% del grupo de trabajadores dentro de la industria son informales (8 de cada 10 aproximadamente).
- El 91.1% de las empresas se encuentran localizadas en la costa peruana, especialmente las ciudades de Lima, Callao, la Libertad y Arequipa.
- 64% de todo el material es exportado a países como EE. UU, Chile, Ecuador y Bolivia.

Adicionalmente, durante los últimos cinco años (2019-2023), la industria del cuero y el calzado ha experimentado una disminución promedio anual del 7.1%. En 2020, esta industria sufrió una fuerte caída del 32.2% debido a los efectos de la pandemia de COVID-19. Sin embargo, en 2021 y 2022 se observaron signos de recuperación, aunque aún no se han alcanzado los niveles previos a la pandemia. (23).

2.2.2 El proceso de curtiembre: principales métodos y descripción del método utilizado en el Perú

Carril et al. (24) refiere que el proceso de curtiembre en muchas partes de Latinoamérica presenta un deficiente modelo automatizado de planta, ya que, muchas veces, se asemejan más a una producción artesanal a comparación de los mecanismos más automatizados utilizados en países europeos como Alemania o Italia. Sin embargo, el proceso ya sea en la industria artesanal o automatizada tiende a ser similar en cuanto a algunos métodos de procesamiento del cuero.

A continuación, se presenta los detalles del proceso de curtiembre, presentado en cuatro etapas:

2.2.2.1 Ribera

- a) Recepción de pieles o pre-tratamiento: Cruzatt y Carmona (25) indican que el proceso da por inicio con el pesado de la materia prima, se realiza la clasificación de las pieles ya sea por especie, tamaño y por calidad, se desecha el material sobrante, como las patas y colas.

Según un estudio desarrollado por el Ministerio del Ambiente de Ecuador (26), una característica de las pieles recién recepcionadas, es que poseen un alto contenido de humedad, al realizar la inspección visual y manual se evita el deterioro de tales pieles. Durante esta etapa también se almacenan las pieles sobre parihuelas y son lavadas constantemente para su rehidratación y para la eliminación de residuos de suciedad (sangre y excretas). Para este lavado se utilizan compuestos como el hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y diferentes tipos de detergentes.

- b) Curado y desinfectado: este paso inicia con la aplicación de sal a las pieles, entre un 40% y 50% de Cloruro de Sodio, esto se realiza con el propósito de evitar que la piel se pudra (24). Durante esta etapa se utiliza grandes cantidades de agua, las cuales arrastran la materia que es inutilizable para el proceso de curtido (sangre, tierra y heces) (26).
- c) Remojo: Alcocer (27) indica que este proceso es indispensable para el tratamiento de las pieles y se evidencian dos grandes aspectos. El primero es disminuir la degradación de las pieles, dado que normalmente tienden a secarse.

Lo segundo es rehumedecer la piel para que esta puede ser manipulada a lo largo de los demás procesos de curtido, es importante el recuperar la flexibilidad y turgencia de la piel. En este proceso entran a tallar la utilización de equipos, como el bombo, molino o tambor, y se utilizan los siguientes compuestos químicos (27):

- Tensoactivos: permiten eliminar la suciedad y se usan para rehumedecer las pieles; además, tiene propiedades hidrotópicas, emulsionantes y dispersoras de grasas (25).
 - Bactericidas: estas sustancias garantizan que el crecimiento de bacterias degradantes de la piel pueda ser controladas y hasta minimizadas. Por ejemplo, suele utilizarse el sulfato de sodio y ácido bórico (26).
 - Productos enzimáticos: los cuales favorecen el proceso de remojo, utilizando estos productos se ataca la producción de albuminas y globulinas de la piel. Es importante recalcar que este proceso debe ser controlado (27).
 - Alcalizadores: se utilizan agentes estabilizantes de alcalinidad, los cuales ayudan a que las pieles alcancen un pH idóneo para el proceso (aproximadamente de 10); asimismo, ayudan a la inhibición del desarrollo bacteriano. Entre los más utilizados se encuentran el hidróxido de sodio (NaOH) y carbonato sódico (Na₂CO₃) (27).
- d) Pelambre y encalado: Melgar (28) señala que durante esta etapa se lleva a cabo una serie de operaciones, donde el objetivo es quitar el pelo y epidermis de la piel. Se requiere separar las fibras para conseguir que el cuero sea más flexible.

El proceso del pelambre ocasiona efectos en la piel, los cuales son (27):

- Efecto sobre el pelo o lana y la epidermis.
- Efecto sobre las sustancias proteicas interfibrilares.
- Efecto sobre las grasas naturales que poseen las pieles.
- Efecto de hinchamiento en la piel.

El depilado de la piel se realiza por diferentes procedimientos, ya sean químicos o enzimáticos. Los compuestos químicos mayormente utilizados son el Sulfuro de sodio, sulfhidrato de sodio y aminos como la dimetilamina (27).

En el caso del procedimiento enzimático, se usan sustancias orgánicas provenientes de organismos vivos y tienen la propiedad de digerir otras sustancias como proteínas de la epidermis y facilitar el depilado. Este procedimiento se llama de calcio, permite abrir las fibras (28).

- e) Descarnado, recorte y dividido: en esta operación se elimina el tejido subcutáneo y adiposo de la piel, para este proceso es necesario la utilización de herramientas como cuchillas comúnmente llamadas cilindro de cuchillas (27). Durante este proceso también se cortan manualmente los bordes de la piel y eliminando partes que no son adecuadas para los siguientes procesos. El dividido tiene el objetivo de dividir la piel en dos partes, una denominada flor y la otra carnaza. Aquí también se utiliza una cuchilla especial muy afilada y de acero. La parte que es utilizada para seguir con el procesamiento de la piel es la flor, mientras que la carnaza es destinada para otros fines (25).
- f) Desencalado y purga: en este proceso se busca reducir la alcalinidad que obtuvieron las pieles durante el proceso de encalado. Si el proceso no es idóneo o resulta ineficiente puede traer problemas a los procesos futuros, como la aparición de manchas y poca resistencia (25).

Los productos desencalantes que suelen usarse se dividen entre (28):

- Ácidos orgánicos: ácido fórmico, ácido acético, ácido láctico.
- Ácidos inorgánicos: ácido sulfúrico, ácido Clorhídrico, ácido bórico, ácido furámico.
- Sales: bisulfito de sodio, sulfato de amonio, cloruro de amonio.

Terminado el proceso de desencalado, se sigue con la purga o rendido. En este proceso se utilizan enzimas proteasas con el propósito de degradar todas las proteínas que aún quedan en la piel, permitiendo así una limpieza más profunda entre las fibras y posteriormente estas

pueden absorber con mayor facilidad los productos de los procesos posteriores. Este proceso le da a la piel una textura blanda y suave al tacto (25).

- g) Desengrasado: para el caso de pieles de bovinos, este proceso se realiza finalizando el desencalado y rendido, con el objetivo de que se evite la formación de jabones con cromo durante la etapa de curtición y como resultado aparezcan manchas oscuras en la piel tratada (25). Para este procedimiento se utilizan tres técnicas: desengrase por prensado, emulsión con agentes tensoactivos y extracción de la grasa empleando disolventes orgánicos (28).
- h) Piquelado: el proceso de piquelado mediante la utilización de una preparación química logra acidificar la piel; es decir, hace que el pH de la piel se reduzca a un valor entre 2.5 y 4, para realizarlo se adiciona cloruro de sodio (NaCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido fórmico (H-COOH) (25).

El proceso del piquelado es determinante para el siguiente proceso que es la del curtido y tiende a variar según el tipo de piel con el que se trabaja y las condiciones o especificaciones que son requeridas por el cliente.

2.2.2.2 *Curtido*

El proceso de curtición tiene la finalidad de evitar la descomposición proteica de las fibras que componen la piel, convirtiéndola en material inorgánico imputrefactible y resistente. Para ello utilizan se dos mecanismos y se da paso a una comparación entre ambos, donde por un lado se emplea la utilización de sales de cromo y por otro lado la utilización de agentes vegetales (26):

- a) Proceso de curtido con sales de cromo: siendo este el más utilizado en la actualidad, pero lamentablemente considerado el más contaminante. Para este proceso se requiere que la piel sea introducida en una maquina divisora y es expuesta a la acción del cromo trivalente en un medio de ácido clorhídrico o sulfúrico, lo que permitirá que la piel se convierta en cuero, este proceso suele durar entre 8 y 24 horas (26).

Existen dos tipos de curtido según Melgar (28):

- Curtido en dos baños: el cual no es muy común y es usado especialmente en pieles de cabra y borrego, en el primer paso se usa bicromato de sodio y ácido sulfúrico. En el segundo paso se usa tiosulfato de sodio y ácido sulfúrico. Este tipo de curtido se realiza en tambores y su mayor característica es una piel con suavidad y tersura.
- Curtido en un baño: es usado mayormente, por su costo más barato y buenos resultados.

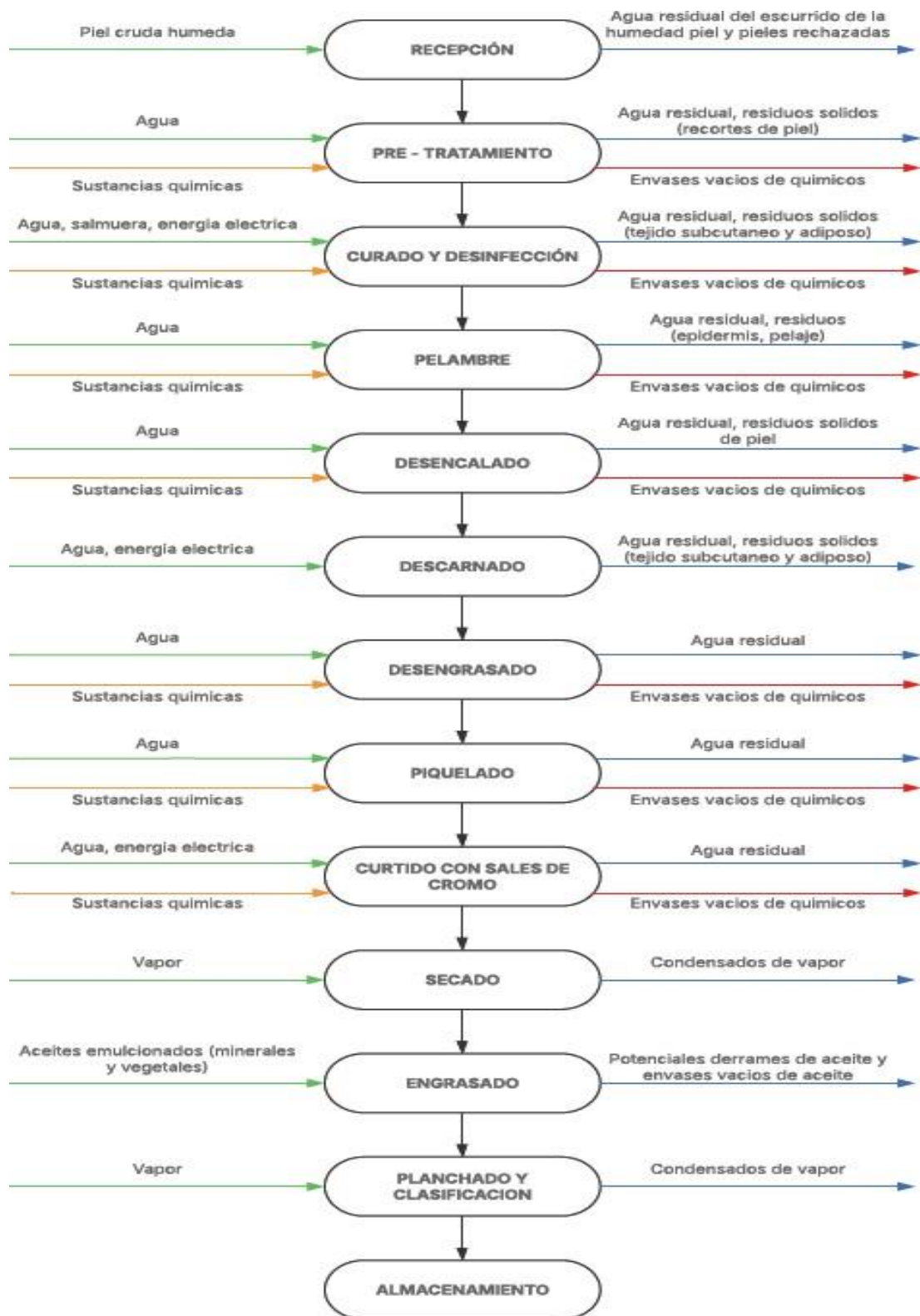


Figura 3. Proceso de curtido con sales de cromo. Tomado de: “Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador”, por Ministerio del Ambiente, 2013 (26).

Las flechas verdes representan las entradas de insumos, servicios básicos, entre otros. Las flechas naranjas representan las entradas de productos químicos. Las flechas rojas representan salidas de residuos peligrosos. Las flechas azules representan salidas de residuos no peligrosas.

- b) Proceso de curtido con agentes vegetales: este proceso permite conservar la fibra del cuero y le da una suavidad y elasticidad. Se emplean extractos vegetales de cortezas, madera, hoja y raíces, provenientes de las especies como la mimosa, castaño, roble o pino. En el proceso los cueros se sumergen en un compuesto de curtiembre vegetal, agua, tanino, alumbre y sal, además se debe controlar el pH, manteniéndolo en 5, si el pH se acidifica se agrega cloruro de sodio y si por el contrario se alcaliniza se adiciona alumbre (26).

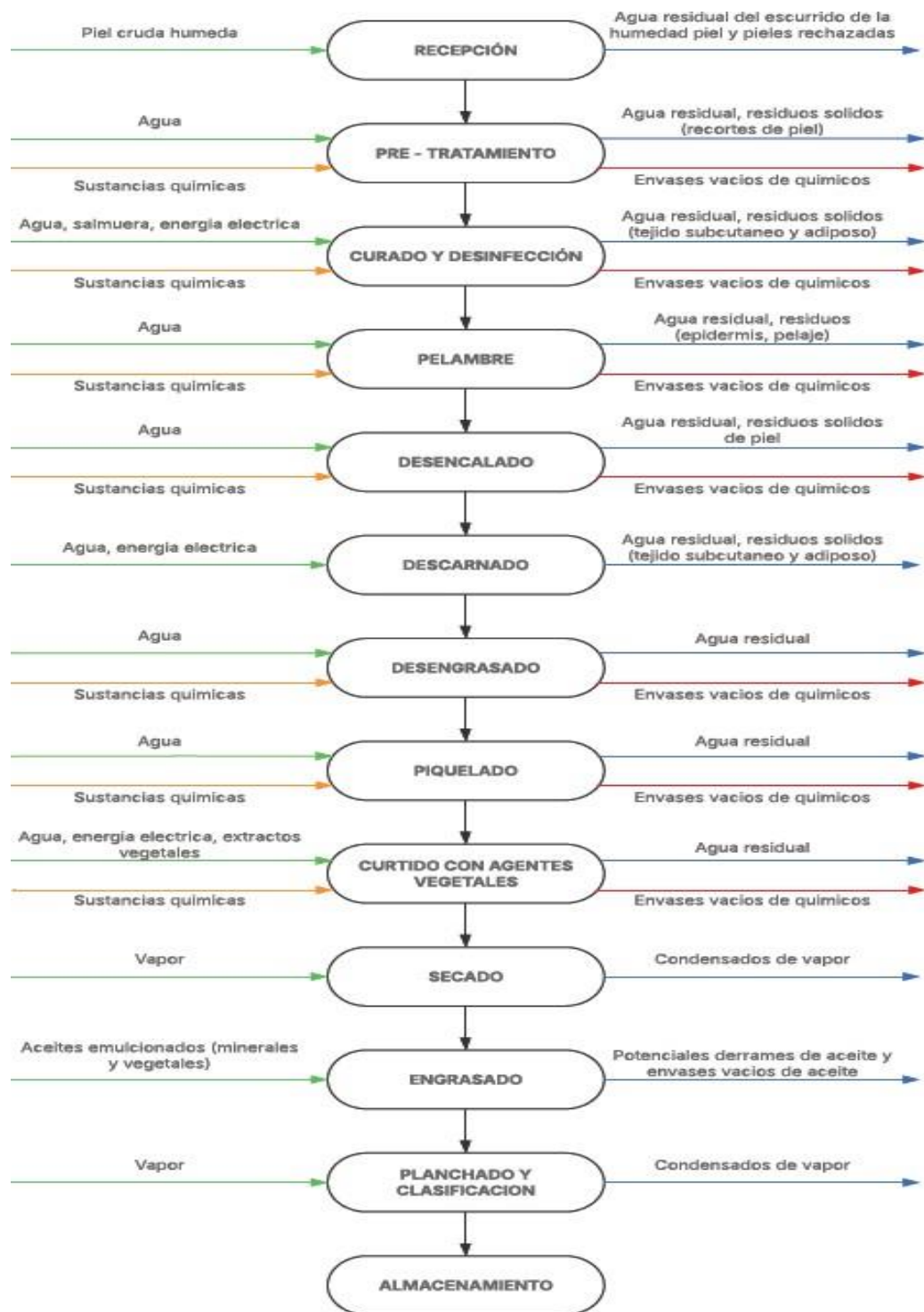


Figura 4. Proceso de curtido con agentes vegetales. Tomado de “Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador”, por Ministerio del Ambiente, 2013 (26).

Las flechas verdes representan las entradas de insumos, servicios básicos, entre otros. Las flechas naranjas representan las entradas de productos químicos. Las flechas rojas representan salidas de residuos peligrosos. Las flechas azules representan salidas de residuos no peligrosos.

- c) Ecurrido: después del proceso de curtido, el cuero es dejado en reposo por un tiempo determinado. Una característica de la piel es la humedad llegando a un valor ente 70% y 75% que no es propicio para un cuero de buena calidad y es necesario reducirlo a un 50% y 55% (27).

Gómez (29) detalla que este proceso se realiza mediante un mecanismo mecánico, por ejemplo, la prensa mecánica, máquinas de escurrir continua o discontinuas y maquinas centrifugas. La más utilizada es la maquina escurridora, que aplica presión mecánica sobre la piel para poder exprimir toda el agua. Este proceso permite que la piel no se deteriore o se descomponga durante los siguientes procesos.

- d) Rebajado: este proceso tiene como finalidad conseguir que el grosor idóneo para el cuero, para lograr este objetivo se requiere de la utilización de una máquina de rebajar, aquí la piel previamente debe tener una humedad relativa del 50% (27).
- e) Neutralizado: consiste en la eliminación de sales neutras y sales de cromo que no se han fijado luego del proceso de curtición. Esto evitará que la piel pueda generar irritaciones al cliente y consumidor, pueda tener una textura dura y se vean manchas en el tinte del cuero (27).

2.2.2.3 *Acabado en húmedo*

- a) Recurtido: este proceso se realiza después del proceso de la primera curtición, aquí se administran productos químicos que pueden mejorar características del cuero, como la resistencia, flexibilidad, suavidad y apariencia. Este proceso varía dependiendo de la finalidad del cuero procesado, algunos compuestos que entran dentro de este proceso son las sales de cromo, aluminio, extractos vegetales, aldehídos o resinas (25).
- b) Teñido: este proceso tiene como objetivo darle la tonalidad deseada en la piel, puede ser superficial o atravesado, mediante la utilización de ácido fórmico se propicia un medio ácido para que se pueda realizar la fijación del tinte (25).

La mayoría de los colorantes son llamados “colorantes ácidos” y son del tipo azoico que están ligados a moléculas aromáticas, conteniendo grupos auxocromos y grupos iónicos solubilizantes (sulfónicos) los cuales se adhieren al cuero (27).

- c) Engrase: el proceso consiste en impregnar el cuero con aceites emulsionados (minerales y vegetales) que hacen que el cuero tenga el acabado deseado (26).

Según Alcocer (27) el objetivo de este proceso es:

- Mejorar las propiedades mecánicas del cuero como la resistencia y elasticidad.
- Obtener una textura suave y blanda.

2.2.2.4 *Acabado en seco*

- a) Secado: se tiene el objetivo de retirar toda el agua que queda en el cuero después del proceso de curtido, el agua puede estar distribuida entre espacios interfibrilares o en los capilares. Existen los siguientes sistemas de secado: Cadena área, Túnel, Toggling, Placas y Vacío (27).
- b) Planchado y clasificación: este proceso puede ser realizado con mecanismos rotativos, en mesa o de prensado, terminado este proceso se continua con la clasificación por tamaño y calidad para posteriormente ser almacenados (26).

2.2.3 **Contaminantes producidos por la curtiembre**

Silva y Salinas (30) refieren que las curtiembres son instalaciones industriales dedicadas al procesamiento del cuero, y durante este proceso se generan diversos contaminantes que pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, los principales contaminantes producidos por las curtiembres son:

- Residuos sólidos: Las curtiembres generan una gran cantidad de residuos sólidos, como recortes de cuero, pelos, carne y otros desechos orgánicos. Estos residuos pueden convertirse en focos de contaminación si no se manejan adecuadamente.
- Efluentes líquidos: el proceso de curtido del cuero utiliza grandes cantidades de agua, que luego se descargan como efluentes cargados de contaminantes. Estos efluentes contienen sustancias químicas tóxicas, como cromo, sulfuros, aceites, grasas y colorantes, que pueden contaminar cuerpos de agua si no se tratan antes de ser vertidos.
- Emisiones atmosféricas: durante el curtido, también se liberan contaminantes al aire, como compuestos orgánicos volátiles (COV), amoníaco, sulfuros y otros gases tóxicos. Estas emisiones pueden contribuir a la contaminación del aire y tener efectos negativos en la salud de los trabajadores y las comunidades cercanas.
- Contaminación del suelo: La disposición inadecuada de residuos sólidos y efluentes puede llevar a la contaminación del suelo, afectando la calidad del terreno y, en algunos casos, llegando a contaminar los acuíferos subterráneos.
- Productos químicos peligrosos: Las curtiembres utilizan una variedad de productos químicos peligrosos en sus procesos, como el cromo, que es utilizado en el curtido. Si estos productos no se manejan con precaución, pueden representar riesgos significativos para la salud y el medio ambiente.

Por lo descrito anteriormente, Tejerina (31) presenta un diagrama de flujo donde se presentan las entradas (consumo de agua, materia prima, productos químicos) y salidas (aguas residuales, residuos sólidos) afines al proceso de curtiembre.

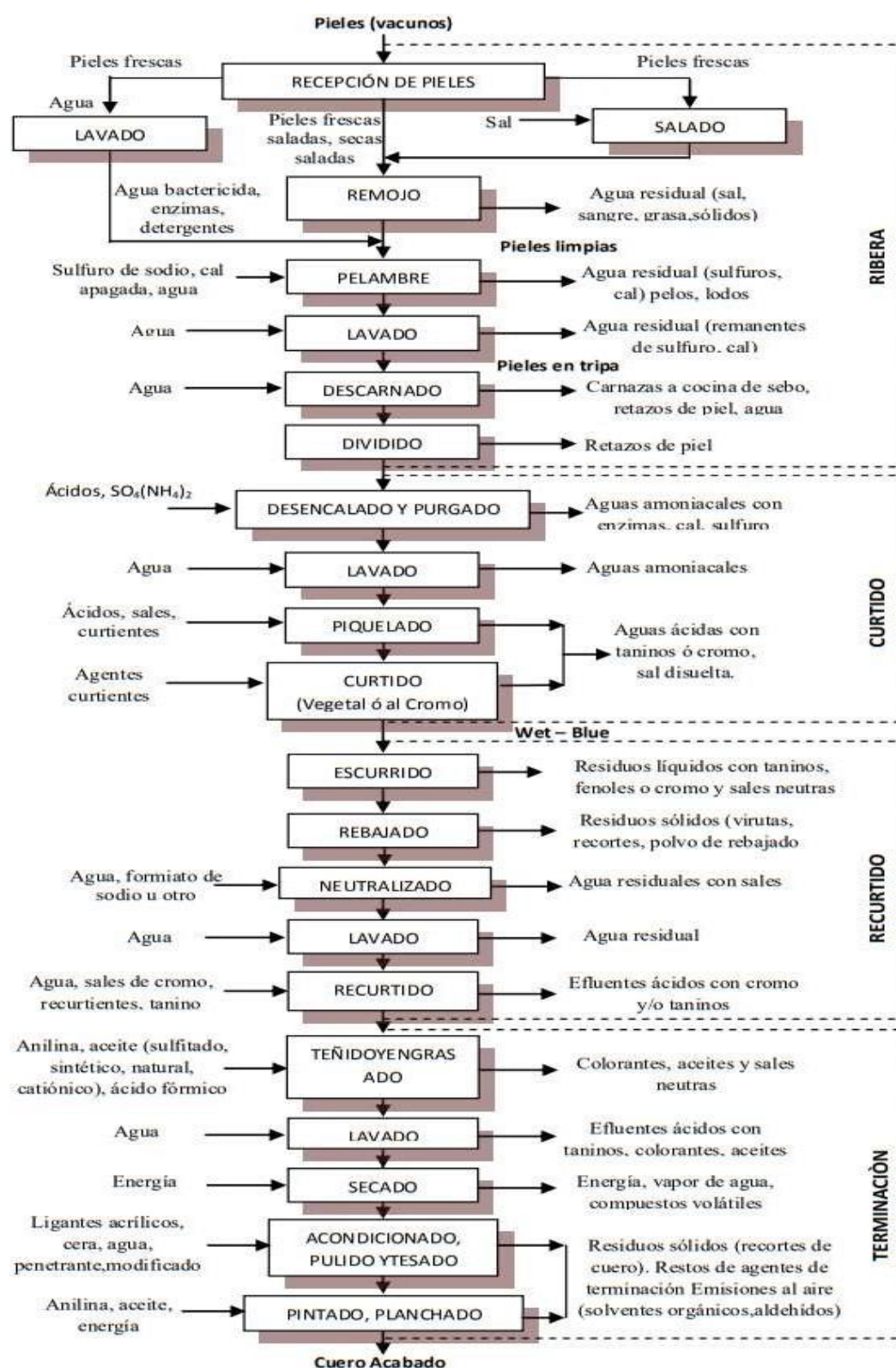


Figura 5. Contaminantes producidos por la curtiembre. Tomado de “Gestión de residuos en curtiembres de la provincia de Salta” por Tejerina, 2013 (31).

2.2.4 Efectos del cromo y cromo (VI)

Esparza y Gamboa (32) indican que el cromo, especialmente en su forma hexavalente (Cromo (VI)), es uno de los principales contaminantes asociados a la industria del cuero.

Sus efectos sobre la salud y el medio ambiente son significativos (32):

Cromo III: aunque menos tóxico que el Cr (VI), puede causar irritación en la piel y las mucosas a altas concentraciones.

Cromo VI: carcinogenicidad: clasificado como carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). Provoca cáncer de pulmón, senos paranasales y otros órganos tras la inhalación o ingestión, Mutagenicidad: Causa daño al ADN y puede provocar mutaciones genéticas, Genotoxicidad: Afecta a los cromosomas y puede inducir aberraciones cromosómicas, Nefrotoxicidad: Daña los riñones, Hepatotoxicidad: Afecta al hígado.

2.2.5 Métodos de tratamiento de efluentes de curtiembre

En la investigación de Fabregas (33), se señala que existen diversos métodos para tratar los efluentes de curtiembre y reducir su impacto ambiental:

- Métodos físicos - químicos: este proceso incluye la coagulación, floculación y sedimentación para remover sólidos suspendidos y contaminantes químicos. Se utiliza para reducir la carga contaminante antes de un tratamiento biológico o descarga final.
- Métodos biológicos: involucra el uso de microorganismos para degradar materia orgánica presente en los efluentes. Se pueden utilizar procesos aeróbicos (con oxígeno) o anaeróbicos (sin oxígeno) dependiendo de la naturaleza de los contaminantes.
- Precipitación de cromo: dado que muchas curtiembres utilizan cromo en el proceso de curtido, es crucial eliminar este metal pesado de los efluentes. El cromo se precipita químicamente y luego se separa del agua tratada.
- Filtración y adsorción: después de los tratamientos anteriores, los efluentes pueden pasar por procesos de filtración y adsorción (utilizando carbón activado, por ejemplo) para eliminar restos de contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su descarga.
- Tratamiento avanzado: involucra técnicas como la ósmosis inversa, la electrocoagulación y la oxidación avanzada para tratar efluentes con altos niveles de contaminantes persistentes que no se eliminan fácilmente con métodos convencionales.

2.2.6 Fitorremediación de cromo

La fitorremediación es una técnica de descontaminación que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar o destruir contaminantes del suelo y del agua, Algunas especies vegetales, como la alfalfa (*Medicago sativa*). En el caso del cromo, un metal pesado tóxico común en los efluentes de curtiembres, la fitorremediación es una opción viable y ecológica (18).

Proceso de fitorremediación de cromo (18):

- Fitoextracción: algunas plantas tienen la capacidad de absorber cromo a través de sus raíces y acumularlo en sus tejidos. Estas plantas se cosechan y se eliminan de manera segura, reduciendo la concentración de cromo en el suelo o el agua.
- Fitodegradación: algunas especies vegetales pueden transformar cromo hexavalente (Cr VI), que es más tóxico, en su forma trivalente (Cr III), menos tóxica y más fácil de inmovilizar en el suelo.
- Fitoinmovilización: las raíces de ciertas plantas pueden estabilizar el cromo en el suelo, impidiendo su movilidad y reduciendo el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.
- Ventajas: es un método ecológico y económico, puede aplicarse en grandes áreas contaminadas, ayuda en la restauración del ecosistema.
- Limitaciones: es un proceso lento y depende de la capacidad de la planta para acumular cromo, requiere un seguimiento y gestión a largo plazo.

2.2.7 *Medicago sativa* como agente biorremediador de cromo

Medicago sativa, comúnmente conocida como alfalfa, es una planta perenne perteneciente a la familia Fabaceae. Es ampliamente utilizada en la agricultura como forraje debido a su alto contenido nutricional, pero también ha sido estudiada por su capacidad para actuar como agente biorremediador, especialmente en suelos contaminados con metales pesados como el cromo (17).

2.2.7.1 *Características morfológicas y fisiológicas y taxonomía de Medicago sativa*

- a) Taxonomía: *Medicago sativa* es una planta ampliamente conocida por su valor forrajero y su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno, se presenta su clasificación taxonómica la cual permite ubicar a esta especie dentro de los principales grupos del reino vegetal y comprender sus características morfológicas y fisiológicas (17).

Tabla 2. Taxonomía de *Medicago sativa*.

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familiar	Fabaceae
Género	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Medicago sativa</i>

Nota: Tomado de Gonzales et al., (17)

- b) Características morfológicas: las características morfológicas de *Medicago sativa* son fundamentales para su identificación y estudio. Esta especie presenta una serie de rasgos distintivos que la hacen adaptativa a diferentes ambientes, las principales características morfológicas que definen a la alfalfa *Medicago sativa*, son (17):

Tabla 3. Características morfológicas de *Medicago sativa*.

Características morfológicas	
Altura	Puede alcanzar entre 30 y 90 cm de altura.
Raíces	Magno Sistema radicular profundo, que puede llegar hasta 4 metros de profundidad, lo que le permite acceder a nutrientes y agua en capas profundas del suelo
Hojas	Trifoliadas, con folíolos oblongos y bordes serrados
Flores	Pequeñas, de color púrpura o azul, agrupadas en racimos
Frutos	Vainas en espiral que contienen varias semillas pequeñas

Nota: Tomado de Gonzales et al. (17)



Figura 6. Características morfológicas de *Medicago sativa*. Nota: se observa lo siguiente: A, se representan las raíces y la altura de *Medicago sativa*; en B, se muestra la hoja de *Medicago sativa* destacando sus bordes cerrados; y en C, se presentan las flores de esta planta.

- c) Características fisiológicas: principales características fisiológicas que permiten que la alfalfa prosperar en condiciones variadas y su importancia en la agricultura (17).

Tabla 4. Características fisiológicas de *Medicago sativa*

Características fisiológicas	
Fijación de nitrógeno	Como leguminosa, <i>Medicago sativa</i> tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias del género <i>Rhizobium</i> , lo que mejora la fertilidad del suelo.
Crecimiento rápido	Tiene una alta tasa de crecimiento y puede producir varias cosechas anuales bajo condiciones adecuadas.
Resistencia al estrés	Es resistente a la sequía y a suelos pobres, lo que le permite crecer en una variedad de condiciones ambientales.

Nota: Tomado de Gonzales et al. (17)

2.2.7.2 Mecanismos de biorremediación de cromo de *Medicago sativa*

Medicago sativa (alfalfa) puede utilizar varios mecanismos para la biorremediación del cromo en suelos contaminados (17):

- Fitoextracción:** esta planta tiene la capacidad de absorber cromo del suelo a través de sus raíces y acumularlo en sus tejidos, principalmente en las raíces y, en menor medida, en los tallos y hojas. Este cromo puede ser posteriormente extraído del ecosistema mediante la cosecha de la biomasa contaminada.
- Fitoestabilización:** las raíces de *Medicago sativa* pueden inmovilizar el cromo en el suelo, reduciendo su movilidad y, por tanto, su riesgo de contaminar las aguas subterráneas. Esto es particularmente útil en áreas donde la eliminación del metal del suelo no es factible.
- Tolerancia y detoxificación:** *Medicago sativa* puede sobrevivir y crecer en suelos con concentraciones moderadas de cromo gracias a su capacidad para detoxificar el metal, transformándolo en formas menos tóxicas dentro de sus tejidos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método

Dado el tipo de investigación del presente proyecto, el método utilizado se realizará siguiendo las directrices descritas por Hernández, Fernández y Batista (34), desde un enfoque cuantitativo, representado en un conjunto de procesos y en base a una recolección de datos numéricos y un análisis estadístico para la prueba de hipótesis. Por otro lado, el alcance de esta investigación cuantitativa es correlacional y explicativa, ya que se asociará y cuantificará variables que nos permitirán realizar predicciones acerca de la relación estructura-función de las especies herbáceas (alfalfa) a investigar; además, los resultados obtenidos, utilizando métodos estadísticos, permitirán establecer relaciones causales entre los efectos determinados en unidades experimentales definidas y el fenómeno de estudio.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación se tomará en cuenta la naturaleza de los experimentos, el experimento se clasifica como experimental puro de acuerdo con Hernández, Fernández y Batista (34).

El diseño experimental para la investigación se clasifica como postprueba y grupo control. El grupo de tratamientos y grupo control se encuentran constituidos por 6 unidades experimentales (Cilindros, diámetro de 60 cm y una altura de 45 cm). La post prueba aplicada al grupo de control y grupo tratamiento, consiste en la toma de muestra después de la aplicación del tratamiento, teniendo dos unidades experimentales como control. De esta manera, nuestro diseño experimental que considera como la aplicación del efluente de curtiembre como una única variable a testar nos permite que los resultados puedan ser evaluados utilizando el análisis de varianza de una vía.

Las variables que han sido consideradas para este trabajo y que están descritas en la tabla 1, han sido seleccionadas ponderando la viabilidad de su medición, es decir el acceso a los instrumentos y equipos, así como se ha establecido en los objetivos del trabajo. Una de las limitaciones importantes fue el costo de análisis, la cual impuso limitaciones para nuestro diseño. Los parámetros fisicoquímicos de suelo elegidos son los más afectados cuando expuestos a contaminantes y que, además, son pasibles de medir con la instrumentación

disponible en laboratorio. El tamaño de plantas y las dimensiones de las hojas de *Medicago sativa* son los parámetros morfológicos considerados en la mayoría de trabajos científicos consultados y que son pasibles de ser medidos con la instrumentación disponible en laboratorio.

3.3 Población y muestra

La población de estudio dentro de la investigación es la cantidad de agentes biológicos en total de todas nuestras unidades experimentales C2, C3, C4 y C6, en total la población es de 100 agentes biológicos, se debe considerar los 150 kg de sustrato.

La muestra en este estudio de investigación es de un agente biológico cada 2 semanas de las unidades experimentales C2, C3, C4 y C6. En total la muestra es de 20 agentes biológicos. La toma de muestras fue realizada considerando la guía de muestreo de suelos del MINAM (35), en la que se indica el método de muestreo como: Muestreo de comprobación de la remediación (MC) para áreas de contaminación de forma regular, considerando estos parámetros se realizó la toma total de 46 muestras.

3.4 Metodologías

3.4.1 Toma de muestra de efluente de curtiembre y preparación para su aplicación

La toma de muestra del efluente de curtiembre se llevó a cabo en una planta de tratamiento ubicada en la zona de Cerro Colorado, en cuatro jornadas para asegurar la representatividad de los datos durante las cuatro visitas, el cual fue extraído directamente desde un canal de descarga asociado a la planta de tratamiento, el agua recolectada se almacenó en botellas plásticas reutilizadas previamente esterilizadas para evitar cualquier tipo de contaminación cruzada. Estas botellas de 3 litros de capacidad cada una se sellaron herméticamente. Para eliminar o reducir la presencia de agentes patógenos y microorganismo perjudiciales, las muestras se sometieron a un proceso de desinfección mediante exposición a la luz azul.

3.4.2 Unidad experimental

a) Contenedores metálicos

Para la realización del experimento se necesitarán 6 contenedores metálicos de las características y dimensiones mostradas en la figura 1. Estos contenedores pueden ser fabricados a partir de cilindros metálicos de 100 galones de capacidad. El contenedor debe tener una altura y diámetro interno de 60 y 48 cm, respectivamente (Figura 8). En el fondo del

contenedor deben realizarse perforaciones de aproximadamente 1 a 1.5 cm, siguiendo el diseño mostrado en la figura 1C. El contenedor debe estar a una altura mínima de 5.5 cm del suelo.



Figura 7. Contenedor metálico del diseño experimental.

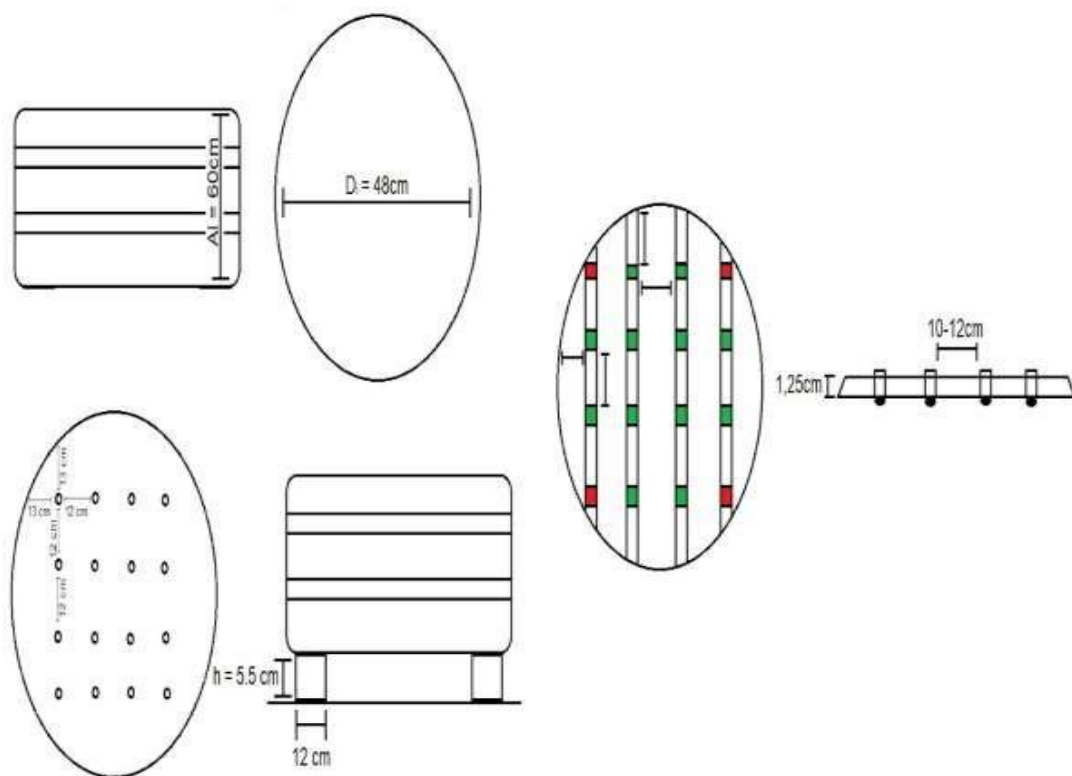


Figura 8. A) Fotografía del interior de la unidad experimental. B) Diseño y dimensiones de la unidad experimental. C) Distribución de las plantas de alfalfa en la unidad experimental.

b) Condiciones de siembra y crecimiento de alfalfa:

De donde fueron obtenidas las plantas cuantas se sembraron por cilindro, cuanto tiempo de adaptación y que se hizo durante esa adaptación agregado de abono La solución de abono fue

preparada de acuerdo a las indicaciones del fabricante y fue aplicado 1 litro de solución de abono Figura 3C distribución de las alfalfas en el cilindro.

3.4.3 Medición de temperatura ambiental, humedad y radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Para la medición de los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) fue utilizado la estación meteorológica portátil PASCO modelo PS-3209 (Pasco Corp. EE.UU.). El equipo fue ubicado en el medio de las unidades de experimentación a 20 centímetros de por encima del borde de estas, con la cara frontal en posición perpendicular. La adquisición de datos fue realizada cuatro veces durante el día: 9:45, 11:45; 13:45, 16:45 y 18:45 horas durante 10 minutos. Fueron realizadas mediciones 3 a 4 veces por semana durante la duración del experimento. Fueron utilizadas las unidades de medida indicadas por el instrumento y los datos fueron expresados en promedio y desviación estándar de la muestra de 600 datos.

3.4.4 Medición de parámetros de suelo, temperatura y conductividad

La medición de la temperatura del suelo se realizó utilizando las unidades experimentales. Las muestras fueron tomadas a una profundidad superficial de 20 cm y superficial de 10 cm, en cinco puntos diferentes por unidad experimental para garantizar la representatividad. Se utilizó un sensor de temperatura digital y un medidor de conductividad eléctrica (modelo) para obtener las mediciones. Los puntos de muestreo fueron elegidos aleatoriamente y las mediciones se realizaron in situ. Las muestras se recolectaron en x momentos diferentes del experimento. Los resultados por cada punto de muestreo se registraron en grados Celsius para la temperatura.

La medición de la conductividad del suelo se realizó utilizando las unidades experimentales. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 20 cm y superficial de 10 cm, en cinco puntos diferentes de la unidad experimental, seguidamente se llevaron a laboratorio utilizando un equipo multiparámetro HANNA. Las muestras se prepararon siguiendo el protocolo estándar para la determinación de la eléctrica, disolviendo el suelo en agua destilada en una relación 1:5, y los resultados se expresaron en deciSiemens por metro (dS/m) para la conductividad eléctrica.

3.4.5 Medición de cromo total y cromo (VI) en suelo

Para la medición de cromo total y cromo (VI) en el suelo, se seleccionaba de forma aleatoria una planta de alfalfa dentro de cada unidad experimental, priorizando aquella que presentara mayor tamaño. Adicionalmente, cada 15 días se tomaba una muestra de suelo y de planta, las

cuales eran enviadas al laboratorio de CERPER (Certificaciones del Perú S.A.), entidad encargada de ofrecer servicios de inspección, muestreo, ensayos y certificación de productos y sistemas de gestión.

La planta seleccionada era lavada cuidadosamente, asegurando que no fuera expuesta al sol durante el proceso. Luego, se colocaba en una bolsa hermética Ziploc para evitar la contaminación de la muestra antes de su traslado al laboratorio. Este procedimiento garantiza que las muestras fueran adecuadamente preparadas para el análisis de cromo total y cromo (VI), siguiendo los estándares establecidos por el laboratorio.

3.4.6 Medición de características morfológicas de la alfalfa. (altura, medidas de hojas)

Para medir las características morfológicas de la alfalfa, se tomaron medidas de todas las plantas de cada una de las unidades experimentales. Las variables morfológicas evaluadas incluyeron la altura de la planta (medida desde el nivel del suelo hasta la punta más alta), en el tamaño de las hojas (medidas de largo y ancho de la hoja) y el número total de hojas por planta.

Las mediciones de altura fueron realizadas con una regla milimétrica, mientras que las dimensiones foliares fueron tomadas con un calibrador vernier metálico.

3.4.7 Medición de la concentración de cromo en la alfalfa

La determinación de cromo total en tejido vegetal fue realizada utilizando el Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES). El análisis de las muestras fue llevado a cabo en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica Santa María. Brevemente, a partir de las unidades de experimentación fueron removidos aleatoriamente dos individuos, en tres momentos diferentes: al inicio del experimento (18/11), a las 6 semanas de iniciado el experimento (26/12) y al final del experimento (03/12).

Inmediatamente, después de ser removidos, los individuos fueron lavados repetidas veces para remover restos de suelo. Luego de ser secados cuidadosamente con papel toalla, fueron mantenidos entre 48 a 72 horas y después fueron entregados para el realizar el análisis correspondiente. El análisis fue llevado a cabo utilizando a todo el individuo. Los resultados son expresados como la media y la desviación estándar de dos datos en términos de mg/kg de acuerdo a los resultados proporcionados por el laboratorio de análisis.

3.4.8 Técnicas de análisis de datos

Los datos, producto de las mediciones de parámetros medioambientales, parámetros de suelo y dimensiones de las plantas, fueron expresados como promedios y desviación estándar. La evaluación de diferencias estadísticamente significativas de las mediciones fue realizada utilizando el Análisis de Varianza de un factor, con un 95% de confianza.

Para el análisis específico de la diferencia significativa entre grupos será utilizado la prueba de Tukey con 95% de confianza. Los valores de la determinación de la concentración de cromo total y cromo (VI) son expresados en porcentajes en relación al control y fue realizado una comparación simple. La normalidad de los datos fisicoquímicos será evaluada con la prueba de análisis de Shapiro-Wilk con un 95% de confianza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Principales condiciones ambientales In loco

4.1.1.1 Temperatura ambiental

La figura 9 muestra la variación diurna de la temperatura ambiental, en el lugar donde se realizó la experimentación (Universidad Continental), estas mediciones se realizaron en los siguientes horarios, durante la mañana a las 9:45 y 11:45 horas, durante la tarde a las 13:45 y 16:45 horas; por último, durante la noche a las 18:45 horas.

Se observa que las temperaturas más altas fueron obtenidas en el horario de las 13:45 horas de la tarde, donde el pico de mayor temperatura se tomó el día 27 de noviembre. En el caso de las menores temperaturas se obtuvieron en el horario de las 18:45 horas, con el pico más bajo obtenido el 28 de octubre. Cabe mencionar que las temperaturas se mantienen en el rango entre 16°C y 32°C.

Asimismo, se observa que el día 29 de noviembre la temperatura mayor se obtuvo en el horario de las 11:45 horas y para las 13:45 horas disminuyó significativamente, siendo esta la más baja tomada en ese horario.

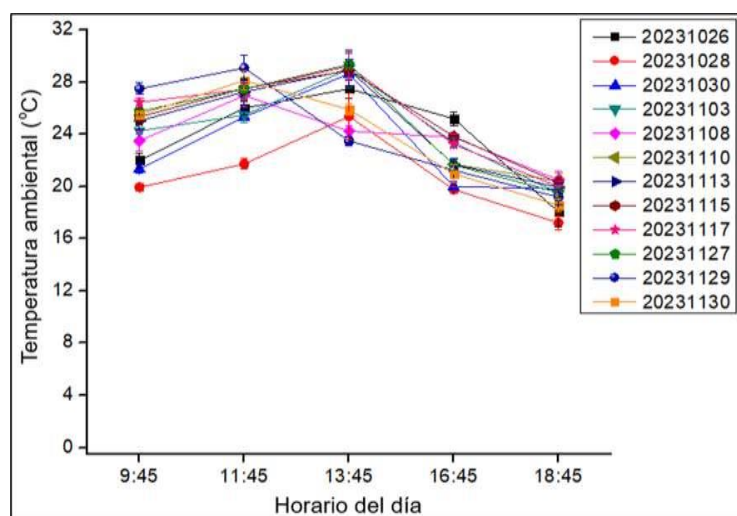


Figura 9. Variación diurna de la temperatura ambiental en el lugar de experimentación.

Nota: la variación diurna de la temperatura ambiental fue medida utilizando la estación meteorológica portátil PASCO. La medición fue realizada durante 10 minutos, con una adquisición de datos en cada segundo. Los datos fueron tomados en cinco turnos durante el día. Los valores mostrados son el promedio y la desviación estándar de una muestra de 600 datos.

4.1.1.2 Humedad relativa

La Figura 10 muestra la humedad relativa en el lugar de experimentación, estas mediciones se realizaron en los mismos horarios definidos de la figura anterior (9:45 - 11:45 - 13:45 - 16:45 - 18:45) y en un lapso de 10 minutos para cada medición respectivamente.

Se tomaron las mediciones en 12 días aleatorios, los cuales están detallados mediante una denominación de mes-día. Mientras que la humedad relativa se representa en porcentaje.

Se observa que el 28 de octubre se presentaron los mayores valores de humedad relativa cercanos al 50%. Por otro lado, los días 3 y 27 de noviembre se registraron los menores valores.

De manera general, durante el periodo de experimentación la variación de la humedad relativa no fue estadísticamente significativa ($P=0.06156$), excepto en los días mencionados en el párrafo anterior.

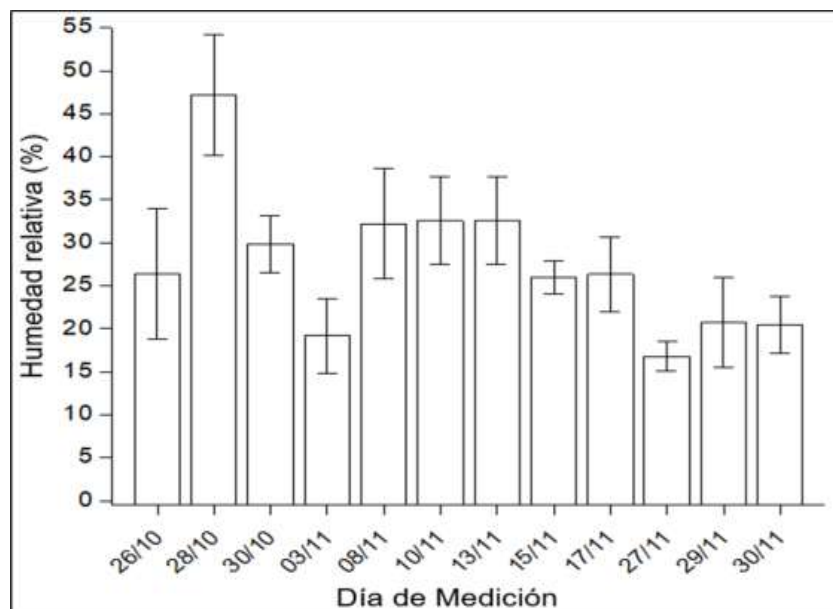


Figura 10. Humedad relativa.

Nota: la humedad relativa fue medida utilizando la estación meteorológica portátil PASCO. La medición fue realizada durante 10 minutos, con una adquisición de datos en cada segundo. Los

datos fueron tomados en cinco turnos durante el día. Los valores mostrados son el promedio y la desviación estándar de una muestra de 600 datos.

4.1.1.3 Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)

En la figura 11 se muestra la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), considerado como un parámetro clave en el experimento realizado, ya que este tipo de radiación es la utilizada en la realización de la fotosíntesis, especialmente en vegetales eucarióticos.

Se observa que los puntos más altos de RFA se captaron en el horario de las 11:45 y 13:45 horas. De manera general, los valores medidos no presentan diferencias estadísticamente significativas ($P=0.07364$); sin embargo, también se evidenció que hay una visible diferencia en el horario de las 11:45, ya que en los días 30 de octubre, 8 de noviembre y 30 de noviembre se captaron valores muy por debajo a comparación de los otros días evaluados en ese mismo horario.

Asimismo, se observó que los valores más bajos de radiación (RFA) se obtuvieron en los siguientes turnos de las 9:45 y las 16:45. Mientras que en el turno de las 18:45 se evidencia una radiación nula evidente.

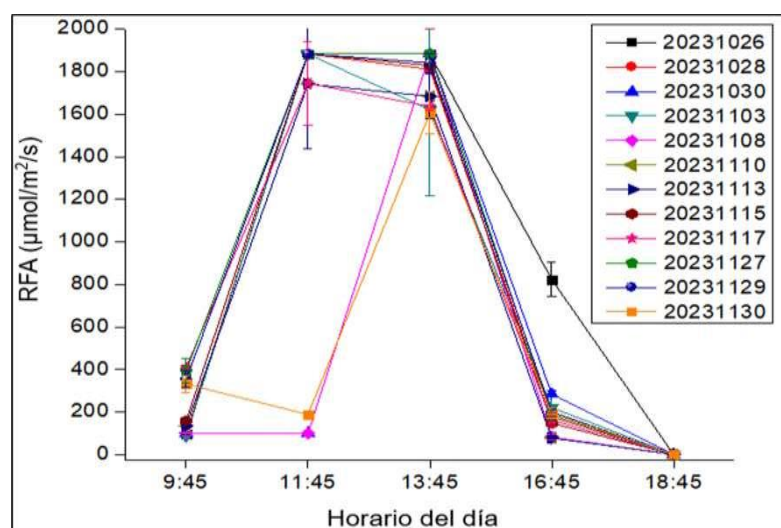


Figura 11. La radiación fotosintética activa (RFA) fue medida utilizando la estación meteorología portátil Pasco. Nota: la medición fue realizada durante 10 minutos, con una recolección de datos en cada segundo. Los datos fueron tomados en cinco turnos durante el día. Los valores mostrados son el promedio y la desviación estándar de una muestra de 600 datos.

4.1.2 Caracterización del sistema de experimentación

4.1.2.1 Descripción de la unidad experimental

La figura 12 muestra las unidades experimentales, las cuales fueron trasplantados a unos cilindros y calificados de la siguiente manera:

A: Muestra 6 cilindros experimentales, donde el primer cilindro (C1) representa el “Control 0 (Solo Suelo)”, C2 representa el “Control – (Suelo + Planta)”, C3 representa el “Tratamiento 1 (Planta + Efluente 1)”, C4 representa el “Tratamiento 1 (Planta + Efluente 2)”, C5 representa el “Control + (Suelo + Efluente)” y C6 representa el “Tratamiento 2 (Suelo + Cromato (VI) de Potasio)”.

B: Muestra el cilindro (C2), representando el “Control – (Suelo + Planta). Utilizado como referente en la evaluación del efecto de los diferentes tratamientos aplicados en las unidades experimentales C3, C4 y C6. Este control es fundamental para establecer una comparación precisa y cuantificar las variaciones causadas por los tratamientos experimentales.

C: Muestra el cilindro (C4), representando el “Tratamiento 1 (Planta + Efluente 2). Esta unidad experimental fue diseñada para evaluar el impacto del efluente contaminante el cual presentaba elevados índices de presencia de cromo (VI). Siendo este un contaminante altamente nocivo y tóxico, conocido por sus efectos adversos en el medio ambiente y la salud, por lo que este tratamiento permite analizar la capacidad de la planta y el suelo para tolerar y posiblemente remediar la contaminación. También, se muestra que los agentes biológicos evidenciaban un mayor crecimiento y robustes, al igual que presentaban mayor cantidad de flores.

D: Muestra el cilindro (C6), representando el “Tratamiento 2 (Suelo + cromato (VI) de potasio)”. Esta unidad experimental fue diseñada para evaluar el impacto del cromato (VI) de potasio. Representando este un componente que afecta negativamente las propiedades fisicoquímicas y la biota del suelo. Asimismo, se muestra que los agentes biológicos evidenciaban un menor crecimiento y robustes, con poca presencia de flores.



Figura 12. *Unidades de experimentación desarrollados en 6 cilindros. Nota: en un lapso de tiempo, iniciando el 15 de octubre y culminando el 3 de diciembre. Donde los 6 cilindros fueron regados con agua potable de manera interdiaria y cada 15 días se realizó el riego con tratamientos a los cilindros específicos.*

4.1.2.2 Temperatura del suelo de las unidades experimentales

La figura 13 muestra una comparativa de la temperatura del suelo de nuestras unidades experimentales, superficial (figura A) medida a 5 cm y profunda (figura B) medida a 20 cm aproximadamente. Realizada mediante la utilización de un termómetro digital para suelos y en cinco puntos determinados dentro de cada cilindro de experimentación, tomando un total de 10 datos por muestra. Asimismo, cada muestra es diferenciada mediante símbolos determinados.

La figura A (Temperatura Superficial) muestra que el día donde se captaron mayores temperaturas fue el 18 de noviembre y por el contrario donde se captaron menores niveles se dieron el 25 de noviembre. Las temperaturas más altas se observan en las unidades C1 y C2, mientras que las temperaturas más bajas se observan en las unidades C5 y C6.

La figura B (Temperatura Profunda) muestra una tendencia similar a la de la Figura A, se observó que el día donde se captaron mayores temperaturas fue el 18 de noviembre y por el contrario donde se captaron menores niveles se dieron el 25 de noviembre.

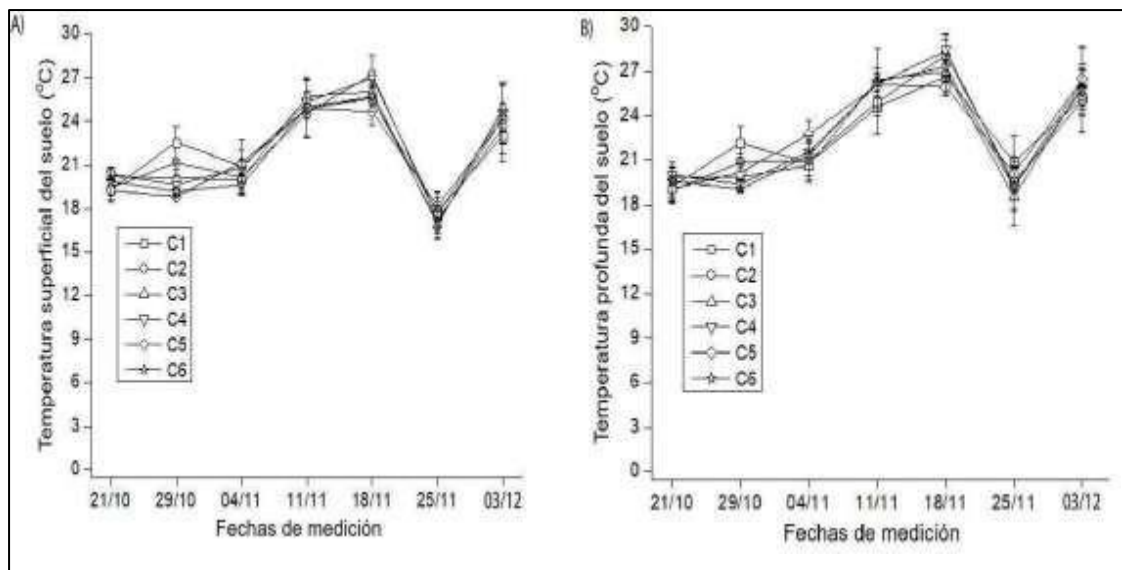


Figura 13. *Temperatura del suelo de las unidades experimentales. Nota: la temperatura superficial y profunda del suelo fue medida en seis unidades experimentales a lo largo de un periodo de tiempo que abarca desde el 10 de octubre hasta el 03 de diciembre, realizada mediante la utilización de un termómetro digital. La temperatura superficial tomada con una profundidad de 5 cm y la temperatura profunda tomada con una profundidad de 20 cm.*

4.1.2.3 Conductancia del suelo de las unidades experimentales

La figura 14 muestra la Conductancia Eléctrica del Suelo expresada en miliSiemens/cm (mS/cm). Para tomar los datos necesarios, cada semana se realizó un muestreo en las unidades experimentales, de cada cilindro se recolectó 200 g de suelo y mediante la utilización de un equipo multiparamétrico digital de marca HANNA. Asimismo, cada muestra es diferenciada mediante símbolos determinados.

Se observó que, durante el periodo de muestreo, la unidad experimental C5 expresa valores similares a las demás unidades experimentales, hasta el muestreo del 18 de noviembre donde se evidencia un crecimiento a 500 mS/cm; luego el 25 de noviembre llega a 1500 mS/cm y el último día de muestreo llega a sobrepasar los 2500 mS/cm.

Por otro lado, las demás unidades experimentales (C1, C2, C3, C4, C6) evidenciaron resultados similares, mientras los menores datos registrados se hallaron en la unidad experimental C2 donde el rango es de 0 mS/cm - 500 mS/cm.

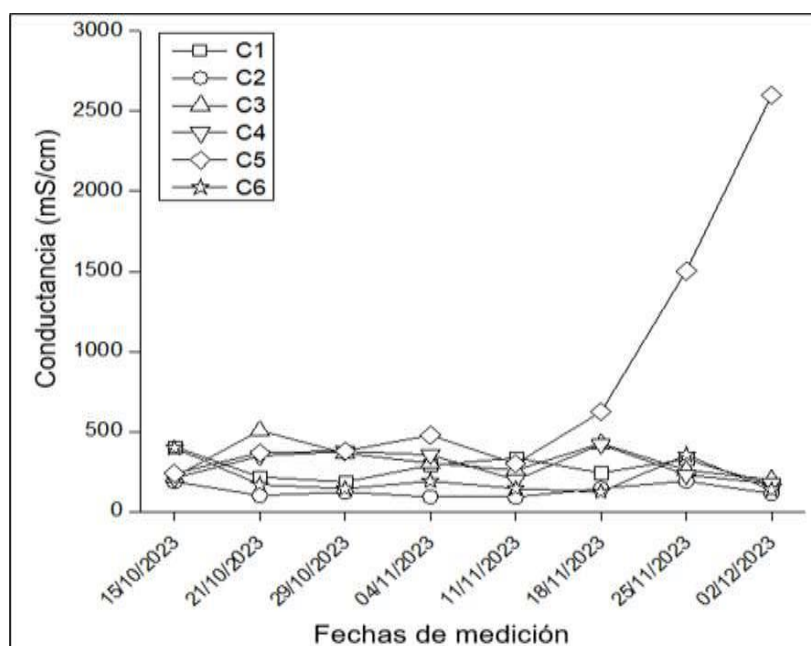


Figura 14. Conductancia del suelo de las unidades experimentales. Nota: la conductancia eléctrica del suelo fue tomada con el multiparámetro HANNA, en seis unidades experimentales diferentes (C1 (□), C2 (○), C3 (△), C4 (▽), C5 (◇) y C6 (☆)) a lo largo de un periodo que abarca desde el 15 de octubre hasta el 2 de diciembre de 2023. La conductancia, expresada en mS/cm. Cada línea representa la evolución de la conductancia en una unidad experimental específica, diferenciadas por símbolos para facilitar su identificación.

4.1.2.4 Cromo total en el suelo de las unidades experimentales

La figura 15 muestra la concentración de cromo total en el suelo, determinada en las unidades experimentales y es expresada en miligramo por kilogramo (mg/kg).

El muestreo fue realizado los días: 18 de noviembre, 26 de noviembre y 3 de diciembre del 2023. De cada cilindro se tomaron 250 g de suelo y se enviaron al laboratorio Cerper S.A. para su análisis.

Los resultados demostraron que la unidad C5 expresa valores elevados en comparación a las demás unidades experimentales, el 18 y 26 de noviembre se captaron valores entre 30 y 35 mg/kg. Asimismo, el 3 de diciembre se captó un valor cercano a 50 mg/kg.

Por otro lado, las unidades C1 y C2 expresan valores cercanos a 0 mg/kg, es decir, en los cilindros no se halla cantidades significativas de cromo total. En el caso de las unidades C3, C4, C6 se expresaron resultados similares.

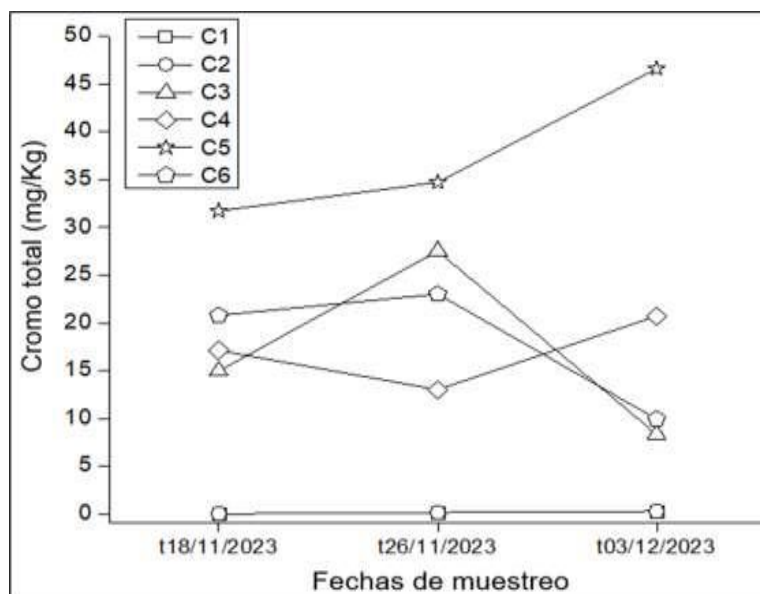


Figura 15. Cromo total en el suelo de las unidades experimentales. Nota: la gráfica presenta la evolución de la concentración de cromo total en el suelo de seis unidades experimentales diferentes (C1 (□), C2 (○), C3 (△), C4 (◇), C5 (☆) y C6 (◊)) a lo largo de tres fechas de muestreo. La concentración de cromo se expresa en miligramos por kilogramo de suelo (mg/kg). Cada línea diferenciada por símbolos para facilitar su identificación.

4.1.2.5 Cromo total en muestras de suelo superficial y profundo de las unidades experimentales

La figura 16 muestra la concentración de cromo total en el suelo, determinado en las unidades experimentales y expresados en miligramo por kilogramo (mg/kg). Los muestreos se realizaron en un nivel superficial medido a 5 cm y en nivel profundo medido a 20 cm aproximadamente. De cada unidad se tomaron 250 g de suelo y se enviaron al laboratorio Cerper S.A. para su análisis.

Los resultados demostraron que en las unidades C3, C4, C5 y C6, el muestreo superficial expresó valores elevados en comparación a los resultados del muestreo profundo. Por el contrario, en el caso de las unidades C1 y C2 se muestran resultados cercanos a 0 mg/kg, tanto para un nivel superficial y profundo.

Otro punto es que la unidad C5 expresa el mayor valor en comparación a las demás unidades experimentales, llegando a un rango de 35 a 40 mg/kg. En el caso de C6 presenta un valor mayor a 15 mg/kg, el C4 un valor ente 10 a 15 mg/kg y por último el C3 un valor entre 5 a 10 mg/kg.

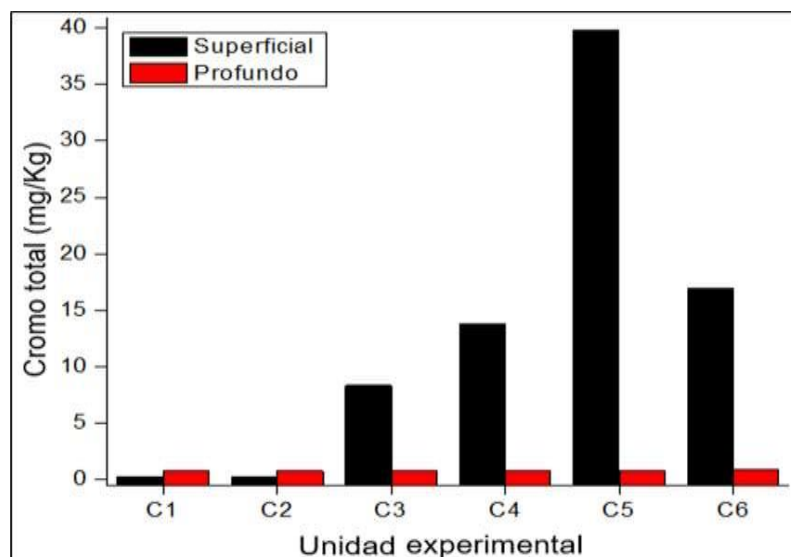


Figura 16. *Cromo total en muestras de suelo superficial y profundo. Nota: la gráfica presenta la concentración de cromo total en muestras de suelo tomadas a dos profundidades (superficial y profundo) en seis unidades experimentales diferentes (C1, C2, C3, C4, C5 y C6), las concentraciones de cromo se expresan en miligramos por kilogramo de suelo (mg/kg).*

4.1.3 Evaluación de los efectos de efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio en plantas de *Medicago sativa*

4.1.3.1 Evaluación de cromo total en plantas de *Medicago sativa*

La figura 17 muestra la concentración de cromo total en muestras biológicas (*Medicago sativa*) recolectadas de los cilindros donde se realizó la experimentación, siendo expresados en miligramo por kilogramo (mg/kg).

El muestreo fue realizado los días: 18 de noviembre, 26 de noviembre y 3 de diciembre del 2023. De cada cilindro se recolectaron muestras representativas y posteriormente se enviaron a un laboratorio para su análisis.

Los resultados demostraron que la unidad C6 expresa valores elevados en comparación a las demás unidades experimentales, el 3 de diciembre se captó un valor cercano a 2.0 mg/kg.

Por otro lado, el 11 y 26 de noviembre, al igual que el 3 de diciembre, la muestra tomada de la unidad C2 expresan valores cercanos a 0 mg/kg; es decir, en las muestras de *Medicago sativa* no se halla cantidades significativas de cromo total. En el caso de las unidades C3 y C4 se expresaron resultados similares llegando a un valor de 1.0 mg/kg el día 3 de diciembre.

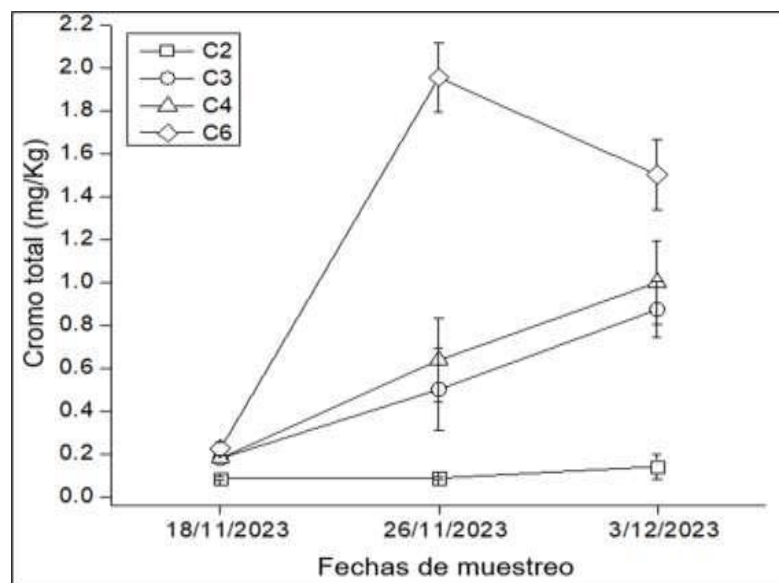


Figura 17. Evaluación de cromo total en plantas de *Medicago sativa*. Nota: la figura representa la evolución de la concentración de cromo total en muestras de alfalfa de cuatro unidades experimentales (C2(□), C3 (○), C4 (△) y C6 (◇)). La concentración de cromo se expresa en miligramos por kilogramo de materia seca (mg/kg). Cada línea representa la evolución de la concentración de cromo en una unidad experimental específica, las barras de error verticales indican la incertidumbre o variabilidad en las mediciones.

4.1.3.2 Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio sobre el crecimiento de las plantas de *Medicago sativa*

La figura 18 representa la evolución de la altura de las hojas de las muestras biológicas de estudio (*Medicago sativa*) a lo largo del tiempo de experimentación en los diferentes tratamientos C2, C3, C4, C6, cada línea corresponde a un tratamiento respectivo, los cuales involucran el uso de efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$), sustancias que potencialmente afectan el crecimiento de las plantas.

Las plantas mostraron un crecimiento continuo a lo largo del tiempo de estudio independientemente del tratamiento, esto es evidente por la tendencia ascendente de todas las líneas en la figura.

En el caso del C4 se evidencia el mayor crecimiento, ya que la línea correspondiente se encuentra consistentemente por encima de las demás, especialmente hacia el final del tiempo de estudio, las condiciones fueron óptimas para el desarrollo de las plantas.

En el caso del C3 se evidencia un crecimiento similar al del C4 durante la mayor parte del tiempo de estudio, hacia el final del estudio el crecimiento se desaceleró ligeramente.

En el caso de C2 y C6 se evidencia un efecto menos pronunciado en el crecimiento de las plantas, ya que las líneas se encuentran por debajo de las de C3 y C4.

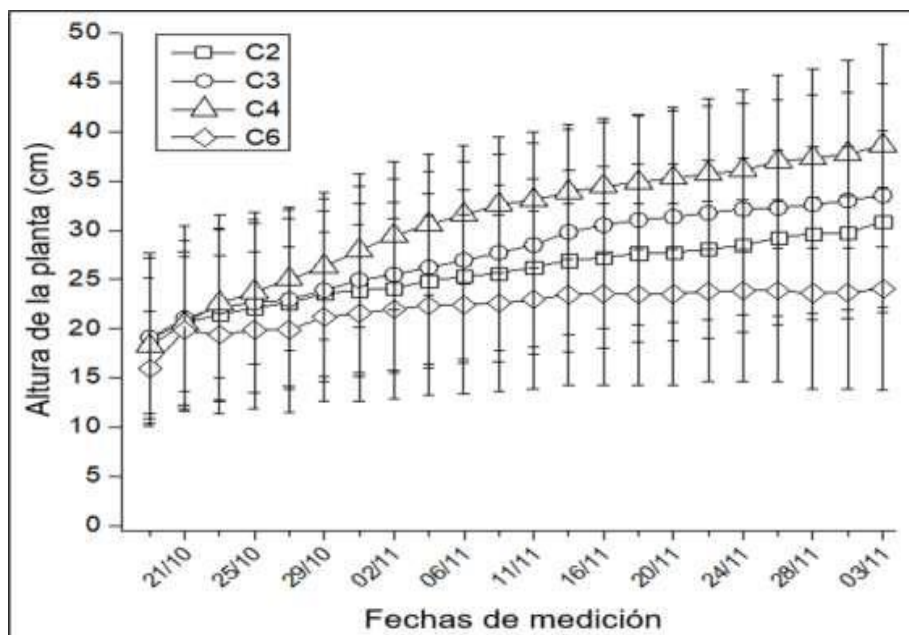


Figura 18. Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre. Nota: la gráfica presenta la evolución de la altura de las plantas de alfalfa *Medicago Sativa* a lo largo del tiempo en cuatro tratamientos diferentes (C2(□), C3 (○), C4 (△) y C6 (◇)). Las alturas se midieron en centímetros y se registraron desde el 21 de octubre hasta el 3 de diciembre. Cada línea representa la altura promedio de las plantas en un tratamiento específico y las barras verticales indican la desviación estándar, lo que nos da una idea de la variabilidad de los datos.

4.1.3.3 Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio sobre el crecimiento de las hojas de las plantas de *Medicago sativa*

La figura 19 representa la evolución en la longitud y ancho de las hojas de las muestras biológicas de estudio (*Medicago sativa*) a lo largo del tiempo, bajo diferentes tratamientos. Estos tratamientos involucran el uso de efluentes de curtiembre y cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$), sustancias que potencialmente afectan el crecimiento de las hojas de las plantas.

Figura 19-A, longitud de la hoja expresada en cm, muestra la evolución de la longitud de las hojas a lo largo de las fechas de medición, del 15 de octubre al 3 de diciembre, cada línea representa un tratamiento diferente (C2, C3, C4, C6). Las barras de error indican la variabilidad de los datos.

Figura 19-B, ancho de la hoja expresada en cm, muestra la evolución del ancho de las hojas, cada línea representa un tratamiento diferente (C2, C3, C4, C6). Las barras de error indican la variabilidad de los datos.

Los diferentes tratamientos han producido resultados dispares en el crecimiento de las hojas, algunas líneas muestran un aumento gradual en la longitud y ancho, mientras que otras muestran una disminución o se mantienen relativamente constantes, esto demuestra una variabilidad entre los tratamientos.

La longitud y ancho de las hojas parecen fluctuar a lo largo del tiempo, lo que sugiere que factores estacionales o internos de la planta también influyen en el crecimiento, además de los tratamientos aplicados.

Se debe considerar el efecto de los tratamientos y sus posibles efectos negativos o positivos sobre el *Medicago sativa* (alfalfa), inhibiendo su crecimiento y dañando sus hojas; por otro lado, este tratamiento habría proporcionado nutrientes esenciales para su crecimiento y estimulando así el desarrollo de las hojas, a diferencia del cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$) que es un agente oxidante fuerte que puede causar estrés oxidativo en las plantas afectando las negativamente.

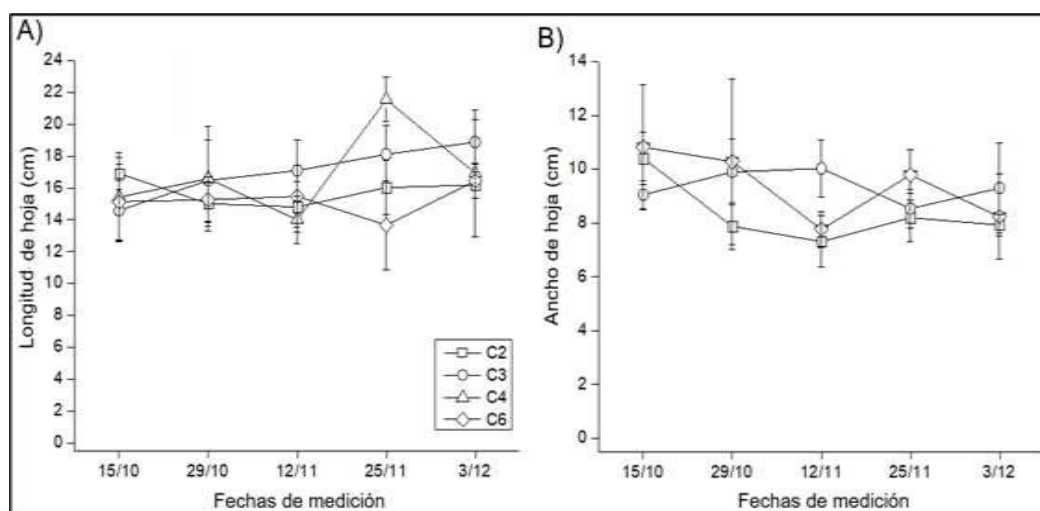


Figura 19. Efectos de los tratamientos con efluentes de curtiembre. Nota: la gráfica representa a la evolución de dos parámetros foliares (longitud y ancho) de plantas de alfalfa *Medicago Sativa* a lo largo del tiempo bajo cuatro tratamientos diferentes (C2(□), C3 (○), C4 (△) y C6 (◇)). Los datos se recolectaron en las fechas desde el 15 de octubre hasta el 3 de diciembre.

4.2 Discusión de resultados

En las investigaciones de De Campos et al. (36) y (28) indican que la alfalfa (*Medicago sativa*) es una especie herbácea que es producida y utilizada en diversas regiones como forraje en la cría de diferentes especies debido a su calidad proteica, mejor digestión, su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo y a su capacidad de crecer en condiciones adversas.

Según un informe del MINAM (37), en el Perú son cultivadas cerca de 31 variedades de alfalfa, utilizadas principalmente para la cría de ganado, además de existir tres especies adicionales que son *M. polymorpha* (sin. *M. hispida*) y *M. lupulina*. De esta manera, esta especie tiene una gran importancia en la producción de alimentos.

Por otro lado, debido a sus características fisiológicas de la alfalfa, esta especie está siendo estudiada y utilizada como agente biorremediador para una variedad de contaminantes, entre ellos: metales pesados, contaminantes recalcitrantes, efluentes, etc., según lo indican Chen y Jócsák (38, 39). Como fue descrito en el ítem 2.2.2, esta especie herbácea es utilizada para estudios de biorremediación de metales pesados, entre ellos el cromo (VI), que está presente en los efluentes de las curtiembres.

En efecto, y como se estableció en la sección 2.1, son numerosas las investigaciones, *in vitro* e *in situ*, los cuales estudian la capacidad de la alfalfa para la remoción de metales pesados en general (19, 17, 20, 39, 16, 7) y cromo (VI) en particular (9, 6, 40).

Los efluentes de la industria de la curtiembre es una de las principales fuentes de contaminación por cromo del suelo y agua (2). Al igual que en el exterior; en el Perú, el Cr es uno de los principales metales pesados que contaminan los ríos costeros, muchos de ellos utilizados en la agropecuaria e industria, lo que aumenta su peligrosidad con respecto a la salud de la población (32, 41). En Arequipa, Luque (42) y Salazar et al. (43), presentaron evidencia sobre la contaminación por cromo de la cuenca del Río Chili como producto de los efluentes de las curtiembres del Parque Industrial de Río Seco (PIRS) y las curtiembres que se encuentran en la cuenca baja del río Chili (distritos de Tingo y Tiabaya), además de la presencia de este metal en los sedimentos aledaños a este río.

Santoyo (44) añade que entidades gubernamentales como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y el Ministerio del Medio Ambiente (MINAM) producen reportes y sancionan las curtiembres. Los esfuerzos direccionados a mitigar los impactos producto de los efluentes de esta industria se han visto frustrados, entre otros factores; según Zapana (45), por la escala de la industria, desafíos técnicos para la implementación de las

técnicas de remediación y biorremediación disponibles y los costos de la implementación y operación.

Recientemente, instituciones de educación arequipeñas han realizado investigaciones sobre sistemas de biorremediación utilizando hongos filamentosos en biorreactores (45) y especies vegetales macrófitas (45), siendo que en ambos sistemas fue reducido en más de 80% la concentración de cromo de en los efluentes tratados. Sin embargo, estos sistemas presentan serias limitaciones para su escalabilidad, su complejidad operacional y la baja capacidad de integración al proceso productivo de la curtiembre.

Ciertamente, a pesar de que los sistemas de bioremediación, comparados con procesos de remediación físicos y químicos, según Wan, Ley y Chen (46) son menos costosos y eficientes, son afectados por la naturaleza de los poluentes, factores ambientales conforme lo indica Contreras (47) y que son procesos que por ellos mismos no generan un valor agregado, siendo netamente un costo.

En la literatura presentada por Alemu, Makonnen y Leta (48), Tonicilli et al. (49) y Kumar, Chopra y Kumar (50), entre los sistemas estudiados para la bioremediación de metales pesados, se encuentra la fitorremediación de efluentes y biosólidos (biólodos) utilizando cultivos, siendo que los primeros son utilizados para el riego y los segundos como abono, respectivamente. Una de las características de este sistema es la reutilización del agua, lo que, en zonas de escasez de este recurso, permite la producción agrícola sustentable; de esta manera, el sistema de biorremediación es parte de un proceso productivo. Estos sistemas poseen ventajas y desventajas, una de las ventajas más resaltantes es que la materia orgánica presente en los efluentes actúa como abono; además, dependiendo del tipo de cultivo y la rizosfera que se desarrolla, el sistema puede realizar la bioremediación de más de un contaminante. Por otro lado, las desventajas más importantes es la sensibilidad de la fitoremediador frente al metal y el posible mecanismo utilizado para la remoción.

En el presente trabajo se tuvo como objetivo evaluar la capacidad de *M. sativa* para la remoción de Cr total y Cr (VI) presente en los efluentes de curtiembres utilizando estos efluentes como elemento de riego. Para esto fue diseñado un sistema (figura 7) que nos ha permitido evaluar el proceso de fitorremediación; además, el efecto de los efluentes sobre las plantas en un ambiente controlado, el posible impacto de diversos factores ambientales, el tipo de suelo y si la dispersión y penetrancia de los contaminantes en el suelo. Este sistema nos permitirá establecer los parámetros básicos para la implementación de una planta de tratamiento de efluentes de curtiembres basado en la fitorremediación utilizando la especie *M. sativa* como agente

fitorremediador, el cual será capaz de procesar el volumen de efluentes producidos por la industria del cuero de Arequipa.

Como fue indicado líneas arriba, las condiciones ambientales desempeñan un papel importante en el cultivo de *M. sativa*. En efecto, en las condiciones ambientales andinas se observa una variación significativa de estos parámetros, especialmente en relación con la temperatura, humedad y lluvia. En las regiones andinas con altitudes mayores a 2000 m.s.n.m. se observa que la variación de temperatura es mayor durante los meses de invierno, llegando a registrar mínimos de temperatura por debajo de 0°C; el valor mínimo de temperatura normalmente se registra entre 4 a 6 am y el aumento y descenso de temperatura ocurre con mayor rapidez en el invierno (51).

Utilizando la estación portátil PASCO, fue monitoreada la temperatura ambiental diurna a lo largo del experimento (Figura 9) mostrando que el registro de los valores de temperatura ambiental, en varios momentos del día, en el lugar de experimentación, presentó una variación entre 20 a 29 °C, siendo la temperatura máxima fue alcanzada a partir de las 11:45 am y la reducción de la temperatura fue un proceso lento; a las 6:45 pm los valores de temperatura estuvieron alrededor de los 19 °C. A pesar de la variación observada, la evaluación de los datos mostró que la esta variación no es significativa (anexo 04, $P=0.7690$). Como lo muestra Alarcón y Trebejo (51), en los meses que comprenden las estaciones de primavera y verano, el aumento de temperatura hasta su valor máximo es un proceso rápido y es alcanzado alrededor del mediodía; sin embargo, la caída de la temperatura durante la tarde hacia la noche es un proceso lento, en este sentido nuestros resultados muestran esa tendencia.

Experimentalmente ha sido mostrado que la *M. sativa* tiene un rango de temperatura de crecimiento óptimo de 22 a 29 °C durante el día y 19 a 25 °C durante la noche (52). Las variedades de alfalfa utilizadas en el Perú se encuentran adaptadas a las pronunciadas variaciones de temperatura observadas en la sierra peruana (53, 54); sin embargo, estos estudios solamente muestran la respuesta y acondicionamiento de *M. sativa* en condiciones de cultivo para producción de forraje, mas no en el contexto del proceso de fitorremediación. En efecto, bajas temperaturas pueden tener una influencia en las vías metabólicas que participan de la remoción de contaminantes, constituyendo un factor importante para la eficiencia del proceso, especialmente si se considera que el tratamiento del efluente debe ser realizado a lo largo del año.

La humedad es un factor ambiental de un impacto significativo en el desarrollo vegetal. Sin embargo, este efecto puede presentar una relación directa o inversa en relación con las características de crecimiento de *M. sativa*. En efecto, como mostró (47) en condiciones

altoandinas, la temporada seca parece inducir un aumento en parámetros como la masa seca y contenido proteico, siendo que este efecto es inverso en zonas húmedas. La heterogeneidad del efecto de la humedad y la evapotranspiración en el crecimiento de *M. sativa* también fue verificada en un estudio reciente realizado por Li y Liu (55). Durante el periodo del experimento fue monitoreada la humedad relativa (figura 10), mostrando que este parámetro ambiental varió entre 20 y 50 %, siendo el día 28/10 con mayor humedad y el día 27/11/2023 el día con la menor humedad, los valores y sus variaciones de estos datos son semejantes a los registrados en la estación del aeropuerto Rodríguez Ballón (<https://www.woespana.es/weather/maps/city>) para el mismo periodo. La baja humedad y los valores que se registran para la evapotranspiración potencial (25-30mm/día, <http://sia.senamhi.gob.pe/?p=evapotranspiracion-lra#>) para Arequipa, pueden presentar un impacto que va más allá de aquellos ejercidos sobre el desarrollo de *M. sativa*, especialmente en el aprovechamiento del agua por la planta proveniente del riego. Así, en el contexto de un sistema de fitorremediación, para la aplicación del efluente debe considerarse un método que permita aplicar un volumen significativo de este, la pérdida de agua, debido al efecto del ambiente seco (56), característico de Arequipa, puede tener un efecto significativo en la distribución de los componentes del efluente y, por lo tanto, su toma por la planta. Además, una rápida pérdida de agua del efluente significa una baja penetración de los componentes de este en el suelo. En la literatura científica, no se ha encontrado estudios que aborden estos aspectos, especialmente en sistema de fitorremediación en lugares áridos, por lo que nuestro sistema puede proporcionarnos esta información en estudios subsecuentes y cómo este efecto varía de acuerdo a la estación seca y húmeda.

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) es definida como la porción de la radiación solar que es utilizada por los organismos vivos fotosintéticos, el cual abarca las longitudes de onda de 400 a 700 nm, este parámetro es considerado esencial en los estudios hidrológicos y agronómicos (57). Jia et al. (58) estudiando el impacto de la radiación solar en condiciones áridas en la producción de alfalfa, encontró que existe una correlación positiva entre la cantidad de luz interceptada y el tamaño de la planta. Asimismo, Lang et al. (59) mostró que bajas temperaturas tienen un efecto sobre los procesos fotosintéticos básicos asociados al fotosistema II de *M. sativa* y que este efecto está asociado a la resistencia a bajas temperaturas de la variedad, sugiriendo fuertemente una relación entre los factores ambientales de temperatura y radiación con la variedad de alfalfa. Así, durante el periodo del experimento (figura 11), fue registrado una variación significativa (anexo 6, $P = 5.519 \times 10^{-5}$) de los valores de RFA los valores máximos alcanzados al medio día. En los días 08 y 30 de noviembre fueron registrados valores debajo de 400 $\mu\text{m}^2/\text{s}$, estos valores fueron registrados debido a que en estos días hubo presencia de nubosidad. Nuestros resultados tienen gran implicación en investigaciones consecuentes, ya que en Arequipa Metropolitana, durante el periodo de lluvia, los sistemas de

lluvia se establecen a partir del mediodía, lo que reduciría significativamente los niveles de RFA afectando el proceso fotosintético que fundamental para la acción eficiente de las vías metabólicas envueltas en los procesos de biorremediación. En la literatura conforme a Yamasoe et al. (60) ha sido establecido que la presencia de nubes es una fuente de la variabilidad que los niveles de RAF al igual que aerosoles debido a material particulado. De esta manera, el parámetro RAF debe ser considerado como un factor cuya influencia en la capacidad de fitorremediación de la alfalfa debe ser investigada en el contexto de la región metropolitana de Arequipa, especialmente en la temporada de lluvia.

Como fue mencionado líneas arriba, en la literatura especializada existen varios estudios que abordan el uso de efluentes en general, y efluentes de curtiembres en particular, como fuente de agua para el riego de cultivos. Sin embargo, sea que el sistema sea basado en bofedales artificiales o en campos de cultivo, los factores que afectan la efectividad del proceso de fitorremediación son el agua y/o el suelo (61), esto se ve reflejado en el tiempo de remediación, que - dependiendo de la especie vegetal - el sistema y el contaminante, puede ser 30 días o demorar hasta dos años. Así, para este estudio uno de los problemas iniciales fue escoger el sistema de fitorremediación. Después de considerar lo expresado en la literatura, la realidad del entorno, el potencial costo/beneficio y que sea capaz de ser escalado, fue decidido establecer un sistema como el descrito en la figura 8. Nuestro diseño, como nos muestra los resultados, ha permitido y permitirá evaluar el efecto de varios factores intrínsecos, ecológicos y ambientales en el proceso de fitorremediación. Por ejemplo, un efecto importante es la temperatura, en párrafos anteriores fue establecida la importancia del efecto de este parámetro. Temperaturas moderadas (20 a 25 °C) promueven el crecimiento microbiano, estimulan el metabolismo aumentando la disponibilidad de metabolitos secundarios (nutrientes para las plantas) y, consecuentemente, la interacción planta microbiota. Si el suelo se encuentra a bajas temperaturas, la efectividad de la biorremoción del Cr depende de la adición de sustancia oxidables (aceptores de electrones) (62). Como muestran nuestros resultados, la temperatura de muestras de suelo superficial (anexo 07; $P = 0.78977$) y profundo (anexo 08; $P = 0.0469$) de las unidades experimentales fueron semejantes entre ellas durante el día, excepto para durante el día 29 de octubre, donde la variación de la temperatura de muestras de suelo superficial (anexo 09; $P = 2.7 \times 10^{-9}$) y profundo (anexo 10; $P = 4.5 \times 10^{-6}$) fue significativa. Las fluctuaciones de los valores observados pueden ser el resultado de la temperatura ambiental durante la noche y madrugada, pero el menor valor de temperatura medido fue de 28°C. Más aún, en nuestro sistema la temperatura superficial y la profunda (>10cm) se mantienen homogéneos durante el día, pero sigue la variación natural con relación al medio ambiente. Es conocido que el metal es un excelente conductor de calor por lo que este material sería el adecuado para la construcción de las unidades experimentales. Adicionalmente, nuestro sistema no permite el

estudio del efecto del tipo y composición del suelo en la penetración y filtración de agua. Como descrito en el capítulo 3, el suelo utilizado fue tamizado, esto proporcionó suelo compactado en el cual la filtración fue mínima, manteniendo humedecida sólo las capas superficiales, lo cual sugiere que, y considerando los volúmenes aplicados, los componentes del efluente solamente se distribuyeron en la superficie del sistema. Ello presenta una serie de implicaciones en biodisponibilidad del cromo y otros contaminantes, sugiriendo fuertemente que este es un parámetro a más a ser considerado en evaluaciones futuras.

En las condiciones experimentales, la aplicación semanal de 3 litros de efluente en las unidades experimentales no ha tenido un impacto en los valores de pH de las unidades que recibieron el tratamiento, incluso en el control positivo (C5, solo suelo regado con efluente). Como fue mencionado en el párrafo anterior, el hecho de que el líquido se mantuviera en las capas superiores y el volumen aplicado sean factores que han permitido una rápida acción de buffer del propio suelo. Por otro lado, fue observado valores elevados de Conductancia en el control positivo (C5; figura 14), el cual estaría asociado a los diversos componentes presentes en el efluente, ya que la conductancia del suelo de la unidad experimental que recibió 3 L de solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$) (33ppm) no presentó alteraciones en este parámetro. En el caso de las unidades experimentales (C3 y C4), los valores de conductancia del suelo no fueron alteradas, ya que probablemente la materia orgánica e iones presentes fueron utilizados como nutrientes por los microorganismos y la planta (48). Con relación a la presencia de cromo total (figura 15) en suelo de las unidades tratadas, los valores fueron menores muy por debajo del medido para la unidad control positivo (C5), en esta última, los valores de cromo total fueron aumentando a lo largo del experimento; así, el sistema mostro su capacidad de remover el cromo adicionado al regar el sistema con efluente de curtiembre o con solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Sin embargo, debe notarse que los valores de cromo total en muestras de suelo de las unidades C3, C4 y C6 han variado (figura 15). Para la toma de muestra de suelo a partir de las unidades de experimentación fue utilizado el método descrito en la Guía de muestreo del MINAM, por cada cilindro, fueron seleccionados 5 puntos, diferentes para cada muestreo, las muestras mezcladas y almacenadas en el contenedor proporcionado por el laboratorio de análisis.

Por otro lado, el proceso de riego fue realizado utilizando los envases en que fue esterilizado el efluente, intentando regar de forma homogénea. Si consideramos que por las características del suelo la filtración del agua es reducida; además, que por efecto de la evapotranspiración ocurre una rápida evaporación del agua, podemos inferir que el modo de riego puede ser un gran factor en la disponibilidad y distribución homogénea de los componentes del efluente. De esta forma, y por lo expresado, es posible argumentar que parte de los componentes del cromo se

mantengan en áreas de la superficie, acumulándose a lo largo del tiempo y que estos pueden ser tomados durante un muestreo aleatorio y posiblemente siendo una de las principales fuentes de la variabilidad observada los valores cromo. Aunado a esto, es posible que el momento de riego deba ser considerado, ya que si el riego se realiza de noche se evitaría la rápida pérdida de agua por evapotranspiración, aumentando la probabilidad de la distribución de los componentes del efluente. Así, nuestros resultados muestran que un elemento importante a considerar en el diseño experimental es la técnica y el periodo de riego.

En párrafos anteriores fue abordado el posible efecto del tipo de suelo en la distribución y filtración de los componentes del efluente. En la figura 16 se muestra los resultados del análisis de cromo total en muestras de suelo superficiales y a 20 cm de profundidad. Este resultado, da soporte a la conjetura de que el tipo de suelo junto con la evapotranspiración limitarían la filtración de contaminantes como el cromo, así como su distribución. Como se observa en la figura 16, el cromo no fue detectado en las muestras de suelo profundas.

En conjunto, las implicaciones de los resultados mostrados son varias, algunas negativas y otras positivas. En el primer caso, la principal implicación negativa es que, en la actual configuración de nuestro sistema, el suelo tamizado restringe la disponibilidad de los contaminantes presentes en el efluente, manteniéndolos en las capas superficiales, limitando el contacto de estos componentes con la rizosfera, por lo que es probable que tenga un impacto en la eficiencia del proceso de biorremediación. Adicionalmente, el momento del día en que se realiza la aplicación y el modo de riego influyen en la distribución de los componentes del efluente, concentrándolos en ciertas áreas de la superficie, lo que podría tener un impacto negativo tamizado no ha afectado el crecimiento de las plantas. Esto sugiere que, y nuestras unidades experimentales nos permitirían implementar, la idea de la estratificación del suelo, considerando los estratos inferiores (hasta el 50% de la altura de la unidad) colocar suelo tamizado y en los estratos superiores utilizar suelo no tamizado, además de la aplicación de los tratamientos en el periodo de la noche. Esta estructura de suelo y el momento de aplicación del tratamiento permitiría tener una mejor distribución y filtración de los componentes del efluente, lo que puede aumentar la biodisponibilidad de los mismos ante la microbiota de la rizosfera y los elementos radiculares de *M. sativa*.

El análisis de muestras de plantas (individuo completo; figura 17) muestra que las plantas expuestas a efluentes de curtiembres (C3 y C4), muestran una absorción de cromo similar (anexo 11; $P=0.0594$) a lo largo del experimento, tendiendo acumular cromo total de forma tiempo dependiente, alcanzando valores cercanos a 1mg/mL. Por otro lado, la exposición de plantas de *M. sativa* a solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$, 33 mg/L) muestra una

mayor absorción (anexo 12; $P=0.000512$) cuando comparada con las muestras expuestas a efluentes. Interesantemente, frente a la solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$), la absorción por parte de la planta muestra una tendencia a aumentar entre el primer y segundo análisis, pero esta absorción desciende al realizar el tercer análisis. La absorción de cromo por *M. sativa* parece estar fuertemente influenciada por el estado de ionización del Cr (VI) y que esta, a su vez, está influenciada por el pH del medio. Ya que en solución Cr (VI) cuando forma parte de una sal, se encuentra como oxo-anión con un carga -2, la elevación del pH del medio dificultaría la interacción de este anión con los grupos funcionales de la raíz, ya que se presume que la mayoría de estos son grupos negativos (carboxilo, $COOH$), por lo que existiría un rechazo electrostático del anión. Dokken (63), utilizando biomasa de *M. sativa*, mostró que el mecanismo de absorción de Cr (III) y Cr (IV) son diferentes, mientras que en el caso de Cr (III) la absorción de este ion se realiza a través de grupos carboxilo y que este proceso es más eficiente en condiciones moderadamente ácidas (6); la absorción de Cr (VI) se realizaría por medio de grupos amino y la subsecuente bio-reducción de este ion a Cr (III). La absorción de Cr (III) por biomasa de la alfalfa, parece realizarse de manera rápida (<10 minutos) (6).

Los resultados obtenidos muestran que, in vivo, la absorción de los iones de cromo presenta diferencias substanciales con lo observado en in vitro (63) ya que la exposición de plantas de *M. sativa* a solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$) tuvo como resultado la absorción de Cr (VI) a pH neutro. En nuestro experimento no pudimos evaluar la presencia de Cr (VI) en el suelo de las unidades que recibieron el efluente, esto puede ser producto de la proporción de iones Cr (III)/Cr (IV) en el efluente. Normalmente, los valores de cromo total en efluentes de curtiembres varían entre 800 a 2000 mg/L, pero los valores de Cr (VI) en los mismos efluentes se encuentran en torno de 10mg/L (44, 45), lo que sugiere fuertemente que el ion Cr (III) sería el más predominante en efluentes de curtiembre; esto, aunado al volumen de efluente aplicado y la concentración de Cr (VI) en el mismo, sugiere que es posible que este ion se encuentre en cantidades por debajo de los límites de detección de los instrumentos de análisis. La referida interpretación se ve reforzada por el hecho de que fue posible detectar la presencia de cromo (VI) como cromo total. Sin embargo, la precisión y límites de detección de los equipos utilizados debe ser considerado como una limitante importante para futuros proyectos. El argumento, es especialmente importante, ya que uno de los próximos acciones a realizar es la determinación en que órganos de la alfalfa los iones de cromo son acumulados. En este sentido, Christou et al. (13) mostró que Cr (VI) se acumula en las hojas de manera concentración-dependiente, teniendo como resultado una reducción del área foliar, una reducción de la biomasa.

El conjunto de los resultados, hasta aquí analizados, brindan una perspectiva sobre la acción de la especie *M. sativa* como agente fitorremediador de metales pesados, específicamente del cromo, cuando expuestas a efluentes de curtiembres utilizados como fuente de agua de riego. En efecto, si consideramos los resultados presentados en las figuras (15, 16), las plantas de *M. sativa* reducen en más de un 50% del cromo total en suelo, en un periodo de 7 semanas, por lo que, a la luz del análisis de nuestros resultados, debemos considerar como verdadera la hipótesis planteada en el capítulo I. Más aun, las plantas de *M. sativa* evitan la acumulación de Cr en el suelo cuando es expuesto de manera frecuente a efluentes de curtiembres, además de mantener algunos parámetros fisicoquímicos constantes.

Hasta este punto, el diseño experimental ha proveído de un conjunto de resultados que nos ha mostrado la capacidad de la especie *Medicago sativa* para la bioremediación del metal pesado cromo presentes en suelos que han sido regados con efluentes de curtiembres, permitiéndonos evaluar la hipótesis formulada frente a la pregunta de investigación planteada. Por otro lado, también fue evaluado el posible efecto sobre las plantas de *M. sativa* una vez realizada la absorción de cromo presente en el suelo de las unidades experimentales. En las condiciones experimentales del presente experimento, la exposición de plantas de *M. sativa* a Cromo (VI) (efluentes de curtiembre o solución de cromato (VI) de potasio) no tuvo un impacto negativo en la altura de las plantas cuando comparado al control (anexo 13; $P=0.0658$). Por el contrario, nuestros resultados indican que las plantas que recibieron el tratamiento de efluente de curtiembre presentaron un crecimiento mayor que la planta control (solo agua), que no fue estadísticamente significativo, incluyendo la exposición de la planta a una solución de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$). De manera similar, no fue observada una diferencia significativa en el tamaño de las hojas (figura 19) entre los tratamientos y el control. En caso de la longitud de la hoja (figura 19 hoja A) fue observada una tendencia de crecimiento para las mediciones realizadas para los cilindros C2 y C3, y para las mediciones de los cilindros C4 y C6, no ha sido observada esta tendencia. Por otro lado, no ha sido observada una tendencia de crecimiento en la medición del ancho de las hojas; además, los valores de desviación estándar de la muestra indican una variación significativa. En nuestro experimento, para la medición del largo y el ancho de las hojas, la elección de la hoja fue realizada al azar considerando todas las hojas de la planta; sin embargo, por los resultados obtenidos, nos sugieren que para realizar las mediciones de las dimensiones de las hojas deben ser consideradas, pues presentan número diferentes de foliolo y formas (36). Así, para evitar variaciones en la medición, la selección de las hojas debe ser realizada considerando sus características morfológicas.

Ambos resultados, indican que el volumen de efluente utilizado en los presentes experimentos promueve el aumento de biomasa de la alfalfa y, a su vez, *M. sativa* remueve el cromo presente

en el efluente. Interesantemente, no fue observado una reducción de biomasa cuando las plantas fueron expuestas a cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Por lo establecido en la literatura, se considera que la exposición de plantas a metales pesados generaría daños a estas, pero en realidad se debe considerar que muchos de los metales pesados son componentes esenciales de enzimas importantes para el metabolismo vegetal, como es el caso del cobre, cobalto y zinc (39). Por otro lado, existen metales pesados no esenciales, entre ellos el cromo, que en bajas concentraciones no son perjudiciales para las plantas, pero a medida que se incrementa la concentración de estos inducen una reducción en la biomasa, tamaño y crecimiento, además de inducir clorosis. En este sentido Christou et al. (13) reportó que la exposición de *M. sativa* a concentraciones mayores a 5 ppm de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$) redujo la longitud de las hojas y el contenido de clorofila. Por otro lado, los resultados presentados por Aydinalp y Marinova (64), indican que exposición de plantas de *M. sativa* a concentraciones de 5 ppm de cromato (VI) de potasio ($K_2Cr_2O_7$) promovió el crecimiento radicular en un 250%, a concentraciones de 10 ppm indujo un crecimiento radicular en 25%, cuando comparado con el control, concluyendo que, en las condiciones experimentales, bajas concentraciones de cromo (VI) produjo efectos de micronutrientes. Los resultados muestran, que en las concentraciones de cromo presente en los efluentes utilizados, no fue producido efectos negativos en la biomasa de la planta o en las hojas, por el contrario, y como fue mencionado en párrafos anteriores, fue observado un crecimiento mayor que en las plantas de la unidad control.

Para comprender mejor los efectos observados sobre las plantas tratadas con efluentes se debe considerar que los efluentes en general presentan varios compuestos inorgánicos y son ricos en materia orgánica (30, 32, 44), a esto se debe adicionar la materia orgánica producto de microorganismos propios de efluentes después de ser tratados con agentes antibióticos. De esta manera, la materia orgánica presente en los efluentes enriqueció el suelo con nutrientes permitiendo un mayor crecimiento de las plantas (figura 18) a pesar de estar expuestas al metal pesado cromo. El efecto nutritivo de efluentes utilizados para el riego de plantaciones de *Medicago sativa* ya ha sido reportado en la literatura científica. Moussaoui et al. (12), al tratar cultivos de *M. sativa* con efluentes municipales tratados observó el aumento del contenido de materia orgánica y nutrientes en los suelos tratados, teniendo como resultado un aumento en la biomasa de las plantas que recibieron este tratamiento. Por otro lado, Elfanssi, Ouazzani y Mandi (11) reportan resultados similares al regar plantíos de *M. sativa* con efluentes domésticos pretratados, concluyendo que el uso de efluentes tratados mejoró las propiedades físicoquímicas y fertilidad del suelo aumentando la productividad del cultivo.

Adicionalmente, un factor importante que se debe tomar en cuenta es la participación del microbiota radicular, especialmente en especies pertenecientes a la familia de las Fabaceae, las

cuales tienen una relación simbiótica estrecha. En efecto, en el caso de *M. sativa*, la resistencia y tolerancia frente a contaminantes inorgánicos y orgánicos de esta especie es influenciada significativamente por la presencia de la microbiota del suelo, sea adicionando compuestos que permitan el incremento de la actividad microbiana, la adición de especies bacterianas que promuevan el crecimiento o la estimulación del crecimiento de especies fúngicas micorizobiales, tiene como resultado la potenciación del metabolismo vegetal y el aumento de la resistencia y procesos de fitorremediación de plantas de *M. sativa* (65, 14, 15). Así, un elemento que debe ser considerado en el diseño experimental del estudio de la capacidad de fitorremediación de *M. sativa* es el efecto en la rizobiota simbiótica.

Finalmente, como fue señalado en párrafos anteriores, otro elemento que debe ser considerado es el método de pretratamiento del efluente antes de ser utilizado como elemento de riego de plantíos de alfalfa. En efecto, uno de los tratamientos que fue utilizado en el estudio de Elfanssi, Ouazzani y Mandi (11) fue efluente sin tratamiento, lo que produjo efectos adversos en las plantas de alfalfa regadas con estas aguas, acumulando prolina y azúcares, además de presentar elevados los niveles de enzimas oxidativas, lo que sugiere un estado de estrés oxidativo que es una de las características de la toxicidad aguda en vegetales, especialmente los expuestos a metales pesados (39). En el caso de nuestro experimento como método de pretratamiento se realizó la exposición de los efluentes a 3 horas de radiación UV con el objetivo de esterilización, y que, de acuerdo a nuestros resultados, ha probado ser un método exitoso. Sin embargo, este método no es adecuado cuando se considera que nuestro sistema debe ser escalable. Considerando que, por su capacidad de volúmenes de tratamiento, facilidad de escalamiento e implementación, las metodologías fisicoquímicas son las candidatas adecuadas para integrarlas como método de pretratamiento en un sistema de biorremediación. En este sentido, en las últimas décadas, los métodos fisicoquímicos independientes de la aplicación de calor han tomado una gran preponderancia, por su relativamente fácil aplicabilidad y su relación costo-beneficio (66, 67). Uno de estos métodos prometedores se basa en el uso de pulsos ultrasónicos, los cuales a través de reacciones sonoquímicas permite la degradación de contaminantes y la eliminación de microorganismos (66, 67, 68). Una de las ventajas de este método es que es posible utilizarlo como método de extracción de macromoléculas (69), considerando que los efluentes de curtiembres contienen gran cantidad de proteínas animales, es posible que el uso de este método como pretratamiento del efluente permita la obtención de proteínas como colágeno que son utilizadas materia prima en diversas industrias, esto permitiría darle un valor agregado al proceso de fitorremediación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A partir del análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye que:

En las condiciones de final de temporada seca en Arequipa, las plantas de la especie *Medicago sativa* son capaces de remover más del 50% del metal pesado cromo (VI) presente en suelos agrícolas que fueron tratados con efluentes de curtiembres y con solución de cromato (VI) de potasio.

Las plantas de *Medicago sativa* mantienen inalteradas propiedades físico- químicas como conductancia y pH de suelos que fueron tratados con efluentes de curtiembres y con solución de cromato (VI) de potasio.

Las plantas de *Medicago sativa* regadas con efluentes de curtiembre presentan un incremento en su biomasa cuando comparado con plantas de la misma especie regadas con agua potable, debido a la presencia de materia orgánica en los efluentes.

Con los volúmenes de efluentes de curtiembre utilizados en el experimento no fue observado efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas de *Medicago sativa*.

El pretratamiento de los efluentes de curtiembres antes de ser utilizados en el riego de plantas de *Medicago sativa* es un procedimiento obligatorio.

5.2 Recomendaciones

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran la necesidad de continuar los estudios aumentando la frecuencia de riego con efluentes provenientes de curtiembre, para establecer el comportamiento de las plantas y del suelo a diferentes cantidades de cromo (IV)

Se debe considerar realizar el ajuste de horario de riego a períodos nocturnos o tempranos en la mañana para minimizar la evapotranspiración y promover una distribución homogénea de los componentes del efluente en el suelo.

El estudio debe ser replicado en la época de lluvia y en la época de invierno, esto permitirá evaluar el impacto de agua adicional en el sistema de biorremediación y cuáles serían los efectos de las bajas temperaturas nocturna y durante el amanecer en las plantas.

Dentro del diseño del estudio debe ser considerado como variable la estratificación del suelo conteniendo suelo cernido y no cernido, esto tendrá un impacto en el diseño del sistema de biorremediación.

Un aspecto a ser considerado es el estudio del comportamiento de la microbiota del rizoma, desde aspectos ecológicos hasta aspectos moleculares, centrado en las modificaciones del proteoma y genoma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LAZO, E. *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del Parque Industrial de Rio Seco, Arequipa*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017. 114 pp. [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2413>
2. CHAUDHARY, P., et al. *Bioremediation of Tannery Wastewater. Advances in Environmental Biotechnology Springer Nature, Singapore* [En línea]. Abril, 2017, 125-144 [Fecha de consulta: 03 de septiembre de 2022]. ISSN: 978-981-10-4041-2. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-10-4041-2_7
3. CORDOVA, B., et al. *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo*. Revista de la Sociedad Química del Perú [En línea]. 2014, 80(3), 183-191 [Fecha de consulta: 03 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i3.226>
4. PATIÑO, M., *Potencial de la biorremediación del Cr VI en hongos filamentosos aislados de efluentes de curtiembre en Perú*. Revista de Ecología y Biotecnología. [En línea] Diciembre, 2019 4(28) 67-88. [Fecha de consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00209-9>
5. OTINIANO, M., et al. *Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas sp y su efecto sobre el ciclo celular de Allium cepa*. Revista Médica Vallejana / Vallejian Medical Journal [En línea]. Enero – Junio, 2007, 4(1), 32-42 [Fecha de consulta: 08 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18050/revistamedicavallejana.v4i1.2218>
6. GARDEA, J., et al. *Biosorption of cadmium, chromium, lead, and zinc by biomass of medicago sativa (alfalfa)*. Universidad de El Paso Texas [En línea]. 1996 [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://engg.k-state.edu/hsrc/96Proceed/gardea2.pdf>
7. TIEMANN, K., et al. *Interference studies for multimetal binding by Medicago sativa (alfalfa)*. Universidad de El Paso Texas [En línea]. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ee3528cf35b6260e3d7edf7b4ef4c2b5206cba03>

8. KARIMI, N., et al. *Comparative Phytoremediation of Chromium-Contaminated Soils by Alfalfa (Medicago sativa) and Sorghum bicolor (L) Moench*. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences [En línea]. 2013, 1(3), 44-49 [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2024]. ISSN:2322-4983 Disponible en: <http://dx.doi.org/10.12983/ijres-2013-p044-049>
9. CARREÑO, M. *Evaluación de un sistema de fitorremediación para la remoción de cromo hexavalente (Cr+6) y materia orgánica empleando como modelo de estudio aguas residuales sintéticas*. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014, 84 pp. [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/31181>
10. CHEN, F., et al. *Physiological responses and accumulation of heavy metals and arsenic of Medicago sativa L. growing on acidic copper mine tailings in arid lands*. Journal of Geochemical Exploration [En línea]. Octubre, 2015, 157, 27-35 [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2024]. ISSN: 0375-6742. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.05.011>
11. ELFANSSI, S., OUAZZANI, N. y MANDI, L. *Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (Medicago sativa L.) irrigated by treated domestic wastewater*. Agricultural Water Management [En línea]. 2018, 202, 231–240 [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.003>
12. MOUSSAOUI, T., et al. *Soil properties and alfalfa (Medicago sativa L.) responses to sustainable treated urban wastewater reuse*. Archives of agronomy and soil science [En línea]. 2019, 65(13), 1900–1912 [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1580359>
13. CHRISTOU, A., et al. *Hexavalent chromium leads to differential hormetic or damaging effects in alfalfa (Medicago sativa L.) plants in a concentration dependent manner by regulating nitro-oxidative and proline metabolism*. Environmental Pollution [En línea]. Diciembre, 2020, 267, 1153779 [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2024]. ISSN: 0269-7491. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115379>

14. TIRRY, N., et al. *Improved chromium tolerance of Medicago sativa by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)*. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology [En línea]. 2021, 19(1), 149 [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2024]. ISSN: 1687-157X. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00254-8>

15. WANG, F., et al. *Phytoremediation of cadmium , lead and zinc by Medicago sativa L. (alfalfa): A study of different period*. Bulgarian Chemical Communications [En línea]. 2015, 47,167-172 [fecha de consulta: 19 de octubre de 2024]. Disponible en: http://www.bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_47_Special_D_2015/BCC-47-SpecialD-2015-167-172-Wang.pdf

16. MORSY, M.M., et al. *Phytoremediation of Pb and Cd by Alfalfa (Medicago sativa L.): An Applied Study in the Presence of Lettuce Plants (Lactuca sativa L.)*. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences [En línea]. Junio, 2022, 30(1), 163-174. Disponible en <http://dx.doi.org/10.21608/ajs.2022.121642.1467>

17. GONZALES, J., et al. *Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso de cultivo de la alfalfa “Medicago sativa”*. Searching Science [En línea]. Diciembre, 2018, 1(1) [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://revista.uct.edu.pe/index.php/science/article/view/341>

18. GIRALDEZ, L. *Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A. El Mantaro*. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019, 66 pp. [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022].
Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5337/T010_41684253%20_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

19. NINAPAYTA, Y. *Eficiencia de la alfalfa (Medicago sativa L.) en la reducción de nitratos en suelos contaminados por lixiviados de residuos sólidos urbanos en condición ex situ, Lima 2016*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2016. 60 pp. [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022].
Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/845/Ninapayta_DY.pdf?sequence=1&isAllowed=y

20. MENDOZA, M. *Capacidad fitorremediadora de la “alfalfa” Medicago sativa L. en suelos contaminados con plomo evaluada en dos etapas de crecimiento*, Vegueta, Huaura. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huaura: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2020. 115 pp. [Fecha de consulta: 01 de septiembre de 2022]. Disponible en:
https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1072/Mendoza_Maria_tesis_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y
21. CONSEJO Nacional del Cuero (CNC). *Comercio mundial del sector del cuero en 2022* [En línea]. LederPiel, Madrid, España, 07 de marzo de 2024 [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://lederpiel.com/comercio-mundial-cuero-2022/>
22. SUMITA, D., et al. *Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review*. Journal of Cleaner Production [En línea]. Enero, 2015, 87, 39-49 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.017>
23. MINISTERIO de la Producción. (PRODUCE). *Desempeño e importancia de la Industria de Cuero y Calzado* [En línea]. Marzo, 2024 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: https://www.producempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/03/PPT_Industria-Cuero-y-Calzado-2018_2023_07032024_revf-2.pptx
24. CARRIL, B., et al. *Industrial redesign in leather tanning processes*. Universidad Ciencia y Tecnología [En línea]. Marzo, 2023, 27(118), 109-119 [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. ISSN: 1316-4821. Disponible en: <https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.692>
25. CRUZATT, A. y CARMONA, F. *Eficiencia del sistema mixto por fitorremediación y biorremediación para el tratamiento de aguas residuales de las curtiembres de Río Seco - Arequipa, 2021*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Continental, 2023. 134 pp. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13100>
26. MINISTERIO del Ambiente Ecuador. *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador* [En línea]. Ecuador, 2013 [Fecha de

consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en:
<https://redbiblioteca.ucacue.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=78858>

27. ALCOCER, P. *Proceso productivo del cuero en la curtiembre San Pedro S.R.LTDA – Lima. Tesis (Título de Ingeniero Químico)*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2016. 102 pp. [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b434856b-afae-44f9-88a2-411e86aa1964/content>
28. MELGAR, D. *Tecnología en el cuero Tomo I Procesos de curtición control de calidad y maquinarias* [En línea]. Huancayo: Centro de desarrollo artesanal unidad operativa de aplicacion de tecnologías, 2000 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/473234/8_Tecnologia_cuero_t.1_2000.pdf
29. GOMEZ, J. *Proceso de Curtido de la Piel* [En línea]. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, 2023 [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/estudis/2023/281209/CUIRSprocur_a2023.pdf
30. SILVA, M. y D. SALINAS. *La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana*. Revista Científica UISRAEL [En línea]. Enero, 2022, 9(1), 69-80 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n1.2022.427>
31. TEJERINA, W., et al. *Gestión de residuos en curtiembres de la provincia de salta*. Energías Renovables y Medio Ambiente [En línea]. Setiembre, 2013, 32, 1-8. [Fecha de consulta: 21 de setiembre de 2024]. ISSN: 0328-932X. Disponible en: http://eprints.natura.unsa.edu.ar/867/1/Tejerina_W_1.pdf
32. ESPARZA, E. y GAMBOA, N. *Contaminación debida a la industria curtiembre*. Revista de química [En línea]. Marzo, 2001, 15(1), 41-63 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/4756>
33. FABREGAS, J. *Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtidos* [En línea]. 1 de julio de 2021. [Fecha de consulta: 1 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://sigmadafclarifiers.com/tratamiento-de-aguas-de-curtiembres/>

34. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación científica*. 6ª ed. México: McGraw-Hill, 2014. 600. ISBN: 978-1-4562-2396-0. [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024] Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

35. MINISTERIO del Medio Ambiente (MINAM). *Guía para el muestreo de suelos* [En línea]. Lima, 2013 [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

36. DE CAMPOS, A., et al. *Alfafa: del cultivo de sus múltiples usos* [En línea]. Brasilia: Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento, MAPA, 2022 [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2024]. ISBN: 978-85-7991-152-1. Disponible en: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/tecnologia-no-setor/publicacoes/livro-alfalfa-del-cultivo-a-sus-multiples-usos.pdf>

37. MINISTERIO del Medio Ambiente (MINAM). *Línea de Base de la Alfalfa con Fines de Bioseguridad en el Perú* [En línea]. Lima: MINAM, 2020 [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2024]. Disponible en: https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/estudio_lb_alfalfa.pdf

38. CHEN, L., et al. *Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (Medicago sativa L.): A comprehensive review*. Chemosphere [En línea]. Abril, 2022, 293, 133-577 [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2024]. ISSN: 0045-6535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133577>

39. JÓCSÁK, I., et al. *Literature Review on the Effects of Heavy Metal Stress and Alleviating Possibilities through Exogenously Applied Agents in Alfalfa (Medicago sativa L.)*. Plants [En línea]. Septiembre, 2022, 11(16), 2161 [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. ISSN: 2223-7747. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11162161>

40. PERALTA, J., et al. *Potential of Alfalfa Plant to Phytoremediate Individually Contaminated Montmorillonite-Soils with Cadmium(II), Chromium(VI), Copper(II), Nickel(II), and Zinc(II)*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology [En

- línea]. Julio, 2002, 69(1), 74-81 [Fecha de consulta: 6 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-002-0012-y>.
41. QUISPE, R., et al. *Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río coata, Perú*. Revista Boliviana de Química [En línea]. 2019, 36(2), 83-90 [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2024]. ISSN: 0250-5460. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426360705003>.
 42. LUQUE, D. *Determinación de la remanencia de contaminación por cromo en el río Chili, Arequipa – Perú, 2022*. Tesis (Doctor en Biología Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2022. 80 pp. [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/520cb86f-cc41-479a-8642-de73d3806f7c/content>
 43. SALAZAR, B., et al. *Estudio de la contaminación por cromo (Cr) en el río Chili y parque industrial de Río Seco (PIRS), Arequipa-Perú 2015-2016*. Veritas [En línea]. 2017, 16 (1), 43-46 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. ISSN 2617-8818. Disponible en: <https://revistas.ucsm.edu.pe/ojs/index.php/veritas/article/view/82>
 44. INFORME N°034-2017-PEFA/DE-SDLB-CEAPIO. *Informe de evaluación ambiental en el ámbito del Parque Industrial de Río Seco, provincia y departamento de Arequipa, 2017* [En línea]. Ministerio del Ambiente, Lima, Peru, 08 de setiembre del 2017 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/508826012/If-0034-2017-Oefa-de-Sdlb-Ceapio>
 45. ZAPANA, S., et al. *Chromium (VI) bioremediation potential of filamentous fungi isolated from Peruvian tannery industry effluents*. Brazilian Journal of Microbiology [En línea]. 2019, 51(1), 271-278 [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2024]. ISSN: 1678-4405 . Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00209-9>
 46. WAN, X., LEY, M. y CHEN, T. *Cost-benefit calculation of phytoremediation technology for heavymetal-contaminated soil*. Science of the Total Environment [En línea]. 2016, 563, 796-802 [Fecha de consulta: 18 de agosto]. ISSN: 0048-9697. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.080>
 47. CONTRERAS, J., et al. *Environmental influence on the nutritional value of alfalfa (Medicago sativa L.) In peruvian andes*. Compendio de Ciencias Veterinarias [En

- línea]. Junio, 2019, 9(1), 7-14 [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2024]. ISSN: 2226-1761. Disponible en: <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2019.09.01.07-14>
48. ALEMU, T., MAKONNEN, A. y LETA, S. *Integrated tannery wastewater treatment for effluent reuse for irrigation: Encouraging water efficiency and sustainable development in developing countries*. Journal of Water Process Engineering [En línea]. Agosto, 2019, 30, 100-514 [Fecha de consulta: 5 de julio de 2024]. ISSN: 2214-7144. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.10.014>
49. TONICIORLI, C., et al. *Alternative uses for tannery wastes: a review of environmental, sustainability, and science*. Journal of Leather Science and Engineering [En línea]. 2020, 2(1), 1-20 [Fecha de consulta: 4 de agosto de 2024]. ISSN: número ISSN. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42825-020-00034-z>
50. KUMAR, V., CHOPRA, A. y KUMAR, A. *A review on sewage sludge (Biosolids) a resource for sustainable agriculture*. Archives of Agriculture and Environmental Science [En línea]. 2017, 2(4), 340-347 [Fecha de consulta: 5 de junio de 2024]. ISSN: 2456-6632. Disponible en: <https://doi.org/10.26832/24566632.2017.020417>
51. ALARCÓN, C. y TREBEJO, I. *Atlas de Heladas del Perú*. [En línea]. Lima, SENAMHI, 2010 [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/359>
52. PATTERSON-T, D. *Effects of day and night temperature on goatsrue (Galega officinalis) and alfalfa (Medicago sativa) growth*. Weed Science [En línea]. 1993, 41(1), 38-45 [Fecha de consulta: 5 de agosto de 2024]. ISSN: 0043-1745 Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0043174500057556>
53. CUBAS, M., et al. *Productive evaluation and chemical composition of six genotypes of Medicago sativa L. in the Andes of northern Peru*. Pastos y forrajes [En línea]. Junio, 2022, 45(7), 1-7 [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2024]. ISSN: 0864-0394. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/2691/269173684007/html/>
54. VILCARA, E. y F. PASSONI. *Características agronómicas y productivas de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa L.) en la sierra central del Perú*. Anales Científicos [En línea]. 2023, 84(2), 110-116 [Fecha de consulta: 6 de julio de 2024]. ISSN: 0255-0407. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/ac.v84i2.2000>.

55. LI, S. y Z, LIU. *Fertilisation and environmental factors affect the yield and quality of alfalfa in China*. Plant, Soil and Environment [En línea]. 2024, 70(5), 276-286 [Fecha de consulta: 11 de julio de 2024]. ISSN: 1214-1178. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/457/2023-PSE>.
56. STAMBOULI, T., et al. *Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas*. Irrigation Science [En línea]. Septiembre, 2013, 31, 1075–1089 [Fecha de consulta: 13 de julio 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0389-2>.
57. NORIEGA, M., et al. *Modeling photosynthetically active radiation: A review*. Atmósfera [En línea]. 2021, 34 (3), 357-370 [Fecha de consulta: 24 de octubre de 2024]. ISSN: 0187-6236. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/atm.52737>.
58. JIA, X. et al. *Forage Yield, Canopy Characteristics, and Radiationa Interception of Ten Alfalfa Varieties in an Arid Environment*. Plants [En línea]. Abril, 2022, 11(9), 1112 [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. ISSN:2223-7747. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/plants11091112>
59. LANG, J., et al. *Chilling effects on primary photosynthetic processes in Medicago sativa: Acclimatory changes after short- and long-term exposure to low temperatures*. Biologia [En línea]. Marzo, 2020, 75(8), 1105–1114 [Fecha de consulta: 4 de octubre de 2024]. ISSN:1336-9563. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00470-6>
60. YAMASOE, M., et al. *Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy*. Atmospheric Chemistry and Physics [En línea]. 2006, 6 (6), 1645–1656 [Fecha de consulta: 4 de octubre de 2024]. ISSN: 1680-7324. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/acp-6-1645-2006>.
61. SHEN, X., et al. *A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: Performance and challenges*. Chemosphere [En línea]. 2022, 291, 132979 [Fecha de consulta: 4 de noviembre de 2024]. ISSN: 0045-6535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132979>.
62. TSENG, J. y BIELEFELDT, A. *Low-Temperature Chromium(VI) Biotransformation in Soil with Varying Electron Acceptors*. Journal of Environmental Quality [En línea].

Noviembre, 2002, 31(6), 831-1841 [Fecha de consulta: 4 de octubre de 2024]. ISSN: 0047-2425. Disponible en: <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1831>.

63. DOKKEN, K. *Chromium binding to alfalfa biomass: mechanisms involved in chromium (III) binding and chromium (VI) bioreduction*. Tesis (Magister en Ciencias). El Paso: University of Texas at El Paso, 2001, 89 pp. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2024]. Disponible en: <https://scholarworks.utep.edu/dissertations/AAIEP05544>
64. AYDINALP, C. y S, MARINOVA. *The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (Medicago sativa)*. Bulgarian Journal of Agricultural Science [En línea]. Abril, 2009, 15(4), 347-350 [Fecha de consulta: 20 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.agrojournal.org/15/04-11.htm>
65. AGNELLO, A., et al. *Citric acid- and Tween® 80-assisted phytoremediation of a co-contaminated soil: alfalfa (Medicago sativa L.) performance and remediation potential*. Environmental Science and Pollution Research [En línea]. Febrero, 2016, 23, 9215–9226. [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2018]. ISSN:1614-7499. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5972-7>
66. AFOLALU, A., et al. *Waste pollution, wastewater and effluent treatment methods – An overview*. Materials Today: Proceedings [En línea]. 2022, 62(6), 3282-3288 [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2018]. ISSN 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.231>
67. FATIMAZAHRA, S., et al. *Review of hospital effluents: special emphasis on characterization, impact, and treatment of pollutants and antibiotic resistance*. Environmental Monitoring and Assessment [En línea]. Febrero, 2023, 195(3) [Fecha de consulta: 13 de julio de 2024]. ISSN: 1573-2959. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11002-5>
68. LAUTERI, C., et al. *Ultrasound Technology as Inactivation Method for Foodborne Pathogens: A Review Foods* [En línea]. 2023, 12(6), 1212 [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2024]. ISSN: 2214-7853. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12061212>
69. CADENA, F., et al. *Efecto de pulsos ultrasónicos en la extracción de compuestos antioxidantes y antifúngicos en Euphorbia prostrata (golondrina)* [En línea]. Nova Xavantina- MT.: Pantanal Editora, 2024, pp. 26-35 [Fecha de consulta: 15 de octubre

de 2024]. Capítulo 3. Biotecnología agropecuaria aplicada. ISBN 978-65-85756-36-5.
Disponible en: <https://doi.org/10.46420/9786585756365cap3>.

ANEXOS

Anexo 01. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo Total (1 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03215/23

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	UNIVERSIDAD CONTINENTAL SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal	AV. SAN CARLOS N° 1980 URB. SAN ANTONIO - HUANCAYO - HUANCAYO - JUNIN
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo	2023-11-18
Procedencia	Proporcionado por el solicitante
Cantidad recibida	06 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	En Pote
Identificación y descripción ^(B)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-11-20
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-20
Fecha de término del ensayo	2023-11-22
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23000082 (EXMA-14486-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto ^(A)				
Puntos de muestreo ^(B)	Coordenadas UTM WGS 84 ^(B)		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
CHT-0 (SS)	—	—	—	—
CNT - (S+PLT)	—	—	—	—
TRA 1 (PLT+E1)	—	—	—	—
TRA 1 (PLT+E2)	—	—	—	—
CHT+(S+E)	—	—	—	—
TRA 2 (S+OC)	—	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE *

Anexo 02. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo Total (2 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03263/23

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	UNIVERSIDAD CONTINENTAL SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Domicilio legal	AV. SAN CARLOS N° 1100 URB. SAN ANTONIO - HUANCAYO - HUANCAYO - JUNIN
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-12-03
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	12 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pote
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-12-04
Fecha de inicio del ensayo	2023-12-05
Fecha de término del ensayo	2023-12-07
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23009082 (EXMA-14468-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para muestra descrita

Proyecto:				
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS-84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
CNT O (SS)-(SUP)	—	—	—	—
CNT O (SS)-(PRO)	—	—	—	—
CNT (S+PLT)-(SUP)	—	—	—	—
CNT (S+PLT)-(PRO)	—	—	—	—
TRA1 (PLT+E1)-(SUP)	—	—	—	—
TRA1 (PLT+E1)-(PRO)	—	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)-(SUP)	—	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)-(PRO)	—	—	—	—
CNT (S+E)-(SUP)	—	—	—	—
CNT (S+E)-(PRO)	—	—	—	—
TRA2 (S+DC)-(SUP)	—	—	—	—
TRA2 (S+DC)-(PRO)	—	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 03. Informe de ensayo para muestras vegetales.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1106
✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> 📄 Apdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA06L23.005129

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Frank Denos Torres Huaco
Dirección del cliente : Calle Islay 132 Miraflores
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Frank Denos Torres Huaco
Descripción de la muestra : Muestras vegetales varias

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 100 g
Fecha de recepción : 06/12/2023
Fecha de ejecución de ensayo : 06/12/2023 al 13/12/2023
Fecha de emisión de informe : 14/12/2023
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

DETERMINACION DE METALES TOTALES (Cromo)

Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
CL 26-2	mg/kg	0,182
CL 26-3	mg/kg	0,182
CL 26-4	mg/kg	1,273
CL 26-6	mg/kg	0,273

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



Firmado digitalmente por:
RICARDO ALONSO ABRIL
RAMÍREZ DNI 29651987
RUC: 20141637941

Motivo:
Fecha: 14/12/2023 09:44:06-0500

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

Anexo 04. Comparación de la temperatura ambiental medida durante el periodo del experimento.

<u>RESUMEN</u>				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D20231026	4	95.58	23.895	28.3627667
D20231028	4	85.32	21.33	24.1916
D20231030	4	95.507	23.87675	28.1058956
D20231103	4	99.24	24.81	27.9004
D20231108	4	90.74	22.685	6.10623333
D20231110	4	100.17	25.0425	22.6645583
D20231113	4	100.17	25.0425	22.6645583
D20231115	4	105.09	26.2725	4.95969167
D20231117	4	104.61	26.1525	8.22835833
D20231127	4	108.8	27.2	5.88666667
D20231129	4	100.04	25.01	21.9350667
D20231130	4	106.53	26.6325	5.364225

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	125.811029	11	11.4373662	0.66505975	0.76094898	2.06660848
Dentro de los grupos	619.110062	36	17.1975017			
Total	744.92109	47				

Anexo 05. Comparación de la humedad relativa medida durante el periodo del experimento.

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D20231026	4	107.998	26.9995	117.940801
D20231028	4	134.45	33.6125	55.8639583
D20231030	4	119.14	29.785	30.2835667
D20231103	4	79.16	19.79	44.1164
D20231108	4	107.26	26.815	101.0729
D20231110	4	134.45	33.6125	55.8639583
D20231113	4	134.45	33.6125	55.8639583
D20231115	4	104.53	26.1325	9.798225
D20231117	4	104.93	26.2325	32.8108917
D20231127	4	67.59	16.8975	8.754025
D20231129	4	87.73	21.9325	63.8048917
D20231130	4	83.82	20.955	33.2627667

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1406.92483	11	127.902258	2.51843709	0.0181214	2.06660848
Dentro de los grupos	1828.30903	36	50.7863619			
Total	3235.23386	47				

Anexo 06. Comparación de la radiación fotosintéticamente activa medida durante el periodo del experimento.

RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D20231026	4	7530.48	1882.62	8.4043E-22
D20231028	4	6703.79117	1675.94779	151802.208
D20231030	4	6595.80223	1648.95056	139343.524
D20231103	4	5955.93417	1488.98354	493715.122
D20231108	4	287.151814	71.7879534	563.063179
D20231110	4	6128.33469	1532.08367	351948.036
D20231113	4	6128.33469	1532.08367	351948.036
D20231115	4	7530.48	1882.62	5.1699E-24
D20231117	4	6674.67784	1668.66946	117095.494
D20231127	4	7530.48	1882.62	4.1876E-22
D20231129	4	7340.16794	1835.04198	6716.79782
D20231130	4	5887.10505	1471.77626	536079.056

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	10593714	11	963064.913	5.3772185	5.519E ⁻⁰⁵	2.06660848
Dentro de los grupos	6447634.01	36	179100.945			
Total	17041348	47				

Anexo 07. Análisis de la Temperatura superficial del suelo entre las unidades superficiales en un determinado día.

11/11/2023

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1-P1S	5	124.4	24.88	4.067
C2-P1S	5	122.8	24.56	0.143
C3-P1S	5	128.6	25.72	1.202
C4-P1S	5	126.6	25.32	0.487
C5-P1S	5	124.5	24.9	0.115
C6-P1S	5	125.1	25.02	4.207

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4.06267	5	0.81253	0.47698	0.78977	2.62065
Dentro de los grupos	40.884	24	1.7035			
Total	44.9467	29				

Anexo 08. Análisis de la Temperatura profunda del suelo entre las unidades superficiales en un determinado día.

11/11/2023

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1-P1P	5	122.8	24.56	3.333
C2-P1P	5	124.6	24.92	0.182
C3-P1P	5	132	26.4	0.615
C4-P1P	5	130.7	26.14	0.023
C5-P1P	5	130.4	26.08	0.697
C6-P1P	5	122.8	24.56	3.333

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	18.2017	5	3.64033	2.66919	0.0469	2.62065
Dentro de los grupos	32.732	24	1.36383			
Total	50.9337	29				

Anexo 09. Análisis de la Temperatura profunda del suelo entre las unidades superficiales en un determinado día.

29/10/2023

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1-P1S	5	112.8	22.56	1.253
C2-P1S	5	105.9	21.18	0.017
C3-P1S	5	100.3	20.06	0.448
C4-P1S	5	98.1	19.62	0.352
C5-P1S	5	94.1	18.82	0.007
C6-P1S	5	95.9	19.18	0.017

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	49.1137	5	9.82273	28.1454	2.7E ⁻⁰⁹	2.62065
Dentro de los grupos	8.376	24	0.349			
Total	57.4897	29				

Anexo 10. Análisis de la Temperatura profunda del suelo entre las unidades superficiales en un determinado día.

29/10/2023

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1-PIP	5	110.8	22.16	1.183
C2-PIP	5	104.3	20.86	0.358
C3-PIP	5	99.3	19.86	0.968
C4-PIP	5	96.8	19.36	0.103
C5-PIP	5	100.8	20.16	0.403
C6-PIP	5	95.3	19.06	0.023

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	31.9417	5	6.38833	12.6169	4.5E ⁻⁰⁶	2.62065
Dentro de los grupos	12.152	24	0.50633			
Total	44.0937	29				

Anexo 11. Análisis de la Temperatura profunda del suelo entre las unidades superficiales en un determinado día.

29/10/2023

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C1-P1P	5	110.8	22.16	1.183
C2-P1P	5	104.3	20.86	0.358
C3-P1P	5	99.3	19.86	0.968
C4-P1P	5	96.8	19.36	0.103
C5-P1P	5	100.8	20.16	0.403
C6-P1P	5	95.3	19.06	0.023

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.183292	5	0.236658	4.041906	0.059415	4.387374
Dentro de los grupos	0.351307	6	0.058551			
Total	1.534599	11				

Anexo 12. Análisis sobre el cromo total absorbido durante el experimento por las plantas regadas con efluente de curtiembre y Cromato (VI) de Potasio.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C3-18/11/2023	2	0.358	0.179	0
C4-18/11/2023	2	0.358	0.179	0
C6-18/11/2023	2	0.447	0.2235	0.003961
C3-26/11/2023	2	1	0.5	0.036992
C4-26/11/2023	2	1.273	0.6365	0.148513
C6-26/11/2023	2	3.909	1.9545	0.103513
C3-3/12/2023	2	1.747	0.8735	0.016745
C4-3/12/2023	2	2	1	0.149058
C6-3/12/2023	2	3.005	1.5025	0.105341

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6.17919	8	0.772399	12.32288	0.000512	3.229583
Dentro de los grupos	0.564121	9	0.06268			
Total	6.743311	17				

Anexo 13. Análisis del crecimiento de la altura de las plantas de las unidades experimentales al final del experimento.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
C2	11	357	32.4545455	63.8727273
C3	18	596	33.1111111	120.339869
C4	15	579	38.6	105.4
C6	13	376	28.9230769	45.0769231

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	677.182399	3	225.727466	2.54488069	0.06583424	2.77911435
Dentro de los grupos	4701.02813	53	88.6986439			
Total	5378.21053	56				

Anexo 14. Análisis del crecimiento de la altura de las plantas del cilindro 2 durante el experimento.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D15/10	14	273	19.5	67.19231
D23/10	14	309	22.07143	76.95604
D27/10	14	326	23.28571	72.06593
D31/10	14	335	23.92857	75.91758
D04/11	14	348	24.85714	78.43956
D08/11	14	359	25.64286	81.17033
D14/11	13	350	26.92308	85.07692
D18/11	13	360	27.69231	81.73077
D22/11	13	365	28.07692	80.91026
D26/11	12	351	29.25	78.93182
D30/11	12	357	29.75	76.38636
D03/11	11	340	30.90909	84.89091

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1648.08	11	149.8254	1.918368	0.04131654	1.85476762
Dentro de los grupos	11402.67	146	78.10046			
Total	13050.75	157				

Anexo 15. Análisis del crecimiento de la altura de las plantas del cilindro 3 durante el experimento.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D15/10	24	458	19.08333	74.86232
D23/10	24	533	22.20833	88.95471
D27/10	24	551	22.95833	82.91123
D31/10	23	574	24.95652	89.86166
D04/11	23	603	26.21739	95.5415
D08/11	23	638	27.73913	100.2016
D14/11	22	656	29.81818	109.3939
D18/11	22	683	31.04545	112.8074
D22/11	22	699	31.77273	117.8983
D26/11	21	678	32.28571	121.2143
D30/11	21	693	33	121.6
D03/11	20	671	33.55	128.6816

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5694.069	11	517.6426	5.038909	4.0451E-07	1.8260296
Dentro de los grupos	26401.38	257	102.7291			
Total	32095.45	268				

Anexo 16. Análisis del crecimiento de la altura de las plantas del cilindro 4 durante el experimento.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
D15/10	19	347	18.26316	47.98246
D23/10	19	429	22.57895	56.59064
D27/10	19	475	25	53
D31/10	18	503	27.94444	60.99673
D04/11	18	551	30.61111	50.95752
D08/11	18	587	32.61111	47.54575
D14/11	17	576	33.88235	46.86029
D18/11	17	593	34.88235	46.73529
D22/11	17	607	35.70588	57.72059
D26/11	16	592	37	77.33333
D30/11	16	604	37.75	90.2
D03/11	15	579	38.6	105.4

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8270.324	11	751.8477	12.38673	1.2526E-17	1.8375086
Dentro de los grupos	11957.47	197	60.69784			
Total	20227.8	208				

Anexo 17. Análisis de la longitud de muestras de hojas de las plantas de las unidades experimentales al final del experimento.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C2	10	162	16.2	0.691111
C3	10	188.9	18.89	1.885444
C4	10	169.3	16.93	15.76678
C6	10	164.5	16.45	1.262778

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	44.64275	3	14.88092	3.035975	0.041513	2.866266
Dentro de los grupos	176.455	36	4.901528			
Total	221.0978	39				

Prueba de Tukey

Xa-Xn	Valor	Valor	= o ≠
C2-C3	-2.69	2.69	iguales
C2-C4	-0.73	0.73	iguales
C2-C6	-0.25	0.25	iguales
C3-C4	1.96	1.96	iguales
C3-C6	2.44	0.25	iguales
C4-C6	0.48	0.48	iguales
q _{0,05(4,36)}	4.039		
MSE	4.9015		
n	10		
T	2.827733		

Anexo 18. Análisis del ancho de muestras de hojas de las plantas de las unidades experimentales al final del experimento.

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C2	10	79.3	7.93	0.162333
C3	10	93	9.3	2.762222
C4	10	82.3	8.23	2.502333
C6	10	98.8	9.88	0.919556

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	24.933	3	8.311	5.238209	0.004197	2.866266
Dentro de los grupos	57.118	36	1.586611			
Total	82.051	39				

Prueba de Tukey

Xa-Xn	Valor	Valor	= o ≠
C2-C3	-1.37	1.37	iguales
C2-C4	-0.3	0.3	iguales
C2-C6	-1.95	1.95	diferentes
C3-C4	1.07	1.07	iguales
C3-C6	-0.58	0.58	iguales
C4-C6	-1.65	1.65	diferentes
q _{0,05(4,36)}	4.039		
MSE	1.5866		
n	10		
T	1.60882		

Anexo 19. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (1 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-02673/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VICTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-10-16
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	6 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pole
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-10-17
Fecha de inicio del ensayo	2023-10-18
Fecha de término del ensayo	2023-10-18
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23005194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
CNT 0(S)	—	—	—
CNT - (S + PLT)	—	—	—
TRA1 (PLT + E1)	—	—	—
TRA1 (PLT + E2)	—	—	—
CNT + (S + E)	—	—	—
TRA2 (S + DG)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-02673/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	CNT O (SS)	CNT - (S + PLT)	TRA1 (PLT + E1)	TRA1 (PLT + E2)
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-10-16 20:25	2023-10-16 20:35	2023-10-16 20:43	2023-10-16 20:53
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04

		Estación de Muestreo	CNT + (S + E)	TRA2 (S + DC)
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-10-16 21:00	2023-10-16 21:10
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0,04	mg/Kg	<0,04	<0,04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199. 1995. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 30 de octubre de 2023

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

Anexo 20. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (2 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03077/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VICTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-10-21
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pole
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-10-23
Fecha de inicio del ensayo	2023-10-27
Fecha de término del ensayo	2023-10-27
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23005194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT+E1)	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)	—	—	—
CNT +(S+E)	—	—	—
TRA2 (S+DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-03077/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	TRA1 (PLT+E1)	TRA1 (PLT+E2)	CNT (S+E)	TRA2 (S+DC)
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-10-21 15:54	2023-10-21 16:08	2023-10-21 15:43	2023-10-21 16:19
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199: 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 28 de noviembre de 2023

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 21. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (3 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03078/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VÍCTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-10-29
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pole
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-10-30
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-02
Fecha de término del ensayo	2023-11-02
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23008194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT+E1)	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)	—	—	—
CNT +(S+E)	—	—	—
TRA2 (S+DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-03078/23

Página 2/2

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Estación de Muestreo					
		TRA1 (PLT+E1)	TRA1 (PLT+E2)	CNT (S+E)	TRA2 (S+OC)		
		Fecha y Hora de Muestreo		2023-10-29 07:39	2023-10-29 07:45	2023-10-29 07:54	2023-10-29 08:00
		Tipo de Muestra		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199, 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 28 de noviembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 22. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (4 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03080/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VÍCTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-11-04
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pole
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-11-04
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-04
Fecha de término del ensayo	2023-11-04
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23008194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT+E1)	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)	—	—	—
CNT +(S+E)	—	—	—
TRA2 (S+DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-03080/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestreo				
		TRA1 (PLT+E1)	TRA1 (PLT+E2)	CNT (S+E)	TRA2 (S+DC)	
		2023-11-04 08:57	2023-11-04 09:06	2023-11-04 09:10	2023-11-04 09:29	
		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199. 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 28 de noviembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 23. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (5 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03081/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VICTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-11-11
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pote
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-11-11
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-15
Fecha de término del ensayo	2023-11-15
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23008194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT+E1)	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)	—	—	—
CNT +(S+E)	—	—	—
TRA2 (S+DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-03081/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	TRA1 (PLT+E1)	TRA1 (PLT+E2)	CNT (S+E)	TRA2 (S+DC)
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-11-11 08:45	2023-11-11 08:52	2023-11-11 08:06	2023-11-11 08:15
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199. 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 28 de noviembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 24. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (6 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03082/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VÍCTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-11-18
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pote
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-11-20
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-22
Fecha de término del ensayo	2023-11-22
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23008194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT+E1)	—	—	—
TRA1 (PLT+E2)	—	—	—
CNT +(S+E)	—	—	—
TRA2 (S+DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 2-03082/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestreo				
		TRA1 (PLT+E1)	TRA1 (PLT+E2)	CNT (S+E)	TRA2 (S+DC)	
Fecha y Hora de Muestreo		2023-11-18 15:10	2023-11-18 15:23	2023-11-18 15:30	2023-11-18 15:40	
Tipo de Muestra		Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199. 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 28 de noviembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

Anexo 25. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (7 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03246/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VÍCTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-11-26
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pole
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-11-27
Fecha de inicio del ensayo	2023-11-27
Fecha de término del ensayo	2023-11-27
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	HS 23005194 (EXMA-13975-2023)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT + E1)	—	—	—
TRA1 (PLT + E2)	—	—	—
ONT + (S + E)	—	—	—
TRA2 (S + DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-03246/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestra	TRA1 (PLT + E1)	TRA1 (PLT + E2)	CNT + (S + E)	TRA2 (S + DC)
		Fecha y Hora de Muestra	2023-11-28 08:00	2023-11-28 09:15	2023-11-28 09:31	2023-11-28 09:42
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0,04	mg/Kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestion) / EPA METHOD 7199, 1996. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 18 de diciembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE *

Anexo 26. Informe de ensayo para muestras de suelo para Cromo VI (8 stage).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-03295/23

Página 1/2

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitado por	JORDAN LLAVE FLOR DE LIZ
Domicilio legal	CORONEL VÍCTOR MALDONADO B205 – CAYMA – AREQUIPA – AREQUIPA
DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^(A)	SUELO
Lugar de Muestreo ^(A)	UNIVERSIDAD CONTINENTAL
Fecha de Muestreo ^(A)	2023-12-03
Procedencia	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	4 muestras x 0.25 Kilogramos
Presentación y condición de recepción	Pote
Identificación y descripción ^(A)	Según se indica
Fecha de recepción	2023-12-04
Fecha de inicio del ensayo	2023-12-14
Fecha de término del ensayo	2023-12-14
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	EXMA-16587-2023
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto:			
Puntos de muestreo ^(A)	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo
	ESTE	NORTE	
TRA1 (PLT + E1)	—	—	—
TRA1 (PLT + E2)	—	—	—
CNT + (S + E)	—	—	—
TRA2 (S + DC)	—	—	—

^(A) Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

INFORME DE ENSAYO N° 2-03295/23

Página 2/2

RESULTADOS

		Estación de Muestra	TRA1 (PLT + E1)	TRA1 (PLT + E2)	CNT + (S + E)	TRA2 (S + DC)
		Fecha y Hora de Muestra	2023-12-03 10:50	2023-12-03 11:15	2023-12-03 11:31	2023-12-03 11:45
		Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cromo Hexavalente (VI)	0.04	mg/Kg	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04

MÉTODOS

Cromo Hexavalente (VI): EPA METHOD 3060 A (Digestión) / EPA METHOD 7199, 1998. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium / Determination of Hexavalent Chromium in Drinking Water, Groundwater and Industrial Wastewater Effluents by Ion Chromatography

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 27 de diciembre de 2023

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

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
 Calle Teniente Rodríguez N° 1415
 Miraflores – Arequipa
 T. (054) 265572

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
 T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE *