

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA
DE LA ESPECIE *Agave americana* L. (MAGUEY) MEDIANTE
LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS EN RELAVES
MINEROS, HUARAZ-ANCASH, 2020”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

Tesista: Br. CADILLO CHAPETON ELSA KATHERINE

Asesor: Dr. TUYA CASTILLO ELADIO GUILLERMO

Huaraz – Perú

2022



DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres:

Juan Cadillo y Silveria Chapeton.



AGRADECIMIENTO

A la Facultad Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por los conocimientos adquiridos durante el periodo de estudio.

En especial Dr. Eladio Guillermo Tuya Castillo por su amistad, consejos, apoyo y ánimo que marco mi vida profesional.

Quiero agradecer a todas las personas que confiaron en mí y decidieron apoyarme.



RESUMEN

El propósito de la investigación fue evaluar la capacidad fitorremediadora del *Agave americano L.* mediante la incorporación de enmiendas (humus, cal y bioestimulante) en relaves mineros. La evaluación se realizó durante 120 días bajo condiciones de invernadero. El diseño fue experimental con un sistema de muestreo aleatorio simple.

La investigación consistió en 5 tratamientos con 3 repeticiones siendo: T1 (Relave 1.50 kg, cal 40 g, Humus 0.150 kg (10%) y bioestimulante 05ml/200ml), T2 (Relave 1.50 kg, cal 40 g, Humus 0.380 kg (25%) y bioestimulante 05ml/200ml), T3 (Relave 1.50 kg, cal 40 g, Humus 0.530 kg (35%) y bioestimulante 05ml/200ml), T4 (Relave 1.50 kg, cal 40 g, Humus 0.750 kg (50%) y bioestimulante 05ml/200ml) y una muestra control T5. Los objetivos específicos fueron: 1) Evaluar el efecto de la incorporación de humus, cal y bioestimulante en el crecimiento del *Agave americana L.* 2) Evaluar la variación del pH y la conductividad en el sustrato de todos tratamientos. 3) determinar el efecto de las enmiendas en la concentración de Cd y Pb en la parte radicular y foliar de la especie *Agave americana L.*

Al finalizar la evaluación, se determinó que la aplicación de enmiendas como cal, bioestimulante y humus, favorece la mayor concentración de Cd en hojas (165.11 mg/kg en T1, 201.35 mg/kg en T2, 211.44 mg/kg en T3, 165.32 mg/kg en T4) y Pb en hojas (332.22 mg/kg en T1, 508.90 mg/kg en T2, 295.16 mg/kg en T3 y 240.18 en T4). Con respecto a la concentración de Cd en raíz (37.2 mg/kg en T1, 50.03 mg/kg T2, 31.69 mg/kg T3, 35.87 mg/kg T4) y Pb en raíz (134.48 mg/kg T1, 293.47 mg/kg T2, 169.25 mg/kg T3, 135.45 mg/kg T4). En general, el *Agave americano L.* concentró mayor cantidad de Cd y Pb en hojas en comparación a la raíz y los tratamientos más eficientes para la fitorremediación de cadmio es el T3 y para el Pb es el T2.

Con esta investigación se generó información sobre la capacidad de fitorremediación del *Agave americano L.* y el potencial para su uso en la recuperación de Pb y Cd de los relaves mineros.

Palabras clave: *Agave americana L.*, hiperacumuladora, fitorremediadora, tolera.

ABSTRACT

The purpose of the research was to evaluate the phytoremedial capacity of *Agave americana* L. through the incorporation of amendments (humus, lime and biostimulant) in mining tailings. The evaluation was carried out for 120 days under greenhouse conditions. The design was experimental with a simple random sampling system.

The research consisted of 5 treatments with 3 repetitions being: T1 (Tail 1.50 kg, lime 40 g, Humus 0.150 kg (10%) and biostimulant 05ml/200ml), T2 (Tail 1.50 kg, lime 40 g, Humus 0.380 kg (25 %) and biostimulant 05ml/200ml), T3 (Tail 1.50 kg, lime 40 g, Humus 0.530 kg (35%) and biostimulant 05 ml/200 ml), T4 (Tail 1.50 kg, lime 40 g, Humus 0.750 kg (50%) and biostimulant 05ml/200ml) and a control sample T5. The specific objectives were: 1) To evaluate the effect of the incorporation of humus, lime and biostimulant on the growth of *Agave americana* L. 2) To evaluate the variation of pH and conductivity in the substrate of all treatments. 3) determine the effect of the amendments on the concentration of Cd and Pb in the root and foliar part of the plant species *Agave americana* L.

At the end of the evaluation, it was determined that the application of amendments such as lime, biostimulant and humus, favors the highest concentration of Cd in leaves (165.11 mg/kg in T1, 201.35 mg/kg in T2, 211.44 mg/kg in T3, 165.32 mg/kg in T4) and Pb in leaves (332.22 mg/kg in T1, 508.90 mg/kg in T2, 295.16 mg/kg in T3 and 240.18 in T4). Regarding the concentration of Cd in the root (37.2 mg/kg in T1, 50.03 mg/kg T2, 31.69 mg/kg T3, 35.87 mg/kg T4) and Pb in the root (134.48 mg/kg T1, 293.47 mg/kg T2, 169.25 mg/kg T3, 135.45 mg/kg T4). In general, the *Agave americana* L. bioaccumulated a greater amount of Cd and Pb in leaves compared to the root, and the most efficient treatments for the phytoremediation of cadmium is T3 and for Pb it is T2.

With this research, information was generated on the phytoremediation capacity of *Agave americana* L. and the potential for its use in the recovery of Pb and Cd from mining tailings.

Keywords: *Agave americana* L., hyperaccumulator, phytoremediator, tolerates.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
AUTORIZACION PARA LA PUBLICACIÓN.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	viii
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivo específico.....	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Variables	3
1.4.1. Variable independiente	3
1.4.2. Variable dependiente.....	3
1.4.3. Operacionalización de variables.....	3
CAPITULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes	5
2.2.1. A nivel internacional.....	5
2.2.2. A nivel nacional.....	7
2.2.3. A nivel local	8

2.3.	Bases teóricas.....	9
2.3.1.	Relaves Mineros: Características Generales e Impactos	9
2.3.2.	Metales en el Ambiente	10
2.3.3.	Estabilización de depósitos de relaves.....	11
2.3.4.	Cadmio en el suelo.....	13
2.3.5.	Toxicidad del cadmio en plantas.....	14
2.3.6.	Plomo en el suelo	15
2.3.7.	Toxicidad de plomo en las plantas.....	15
2.3.8.	Fitorremediación	15
2.3.9.	Especie <i>Agave americana L.</i>	19
2.3.10.	Enmienda	21
2.3.11.	Indicadores de Fitorremediación	23
2.3.12.	Factores que influyen en la biodisponibilidad de metales.....	23
2.3.13.	Mecanismo de movilización de los metales en el suelo	26
2.4.	Definición de términos básicos.....	27
2.4.1.	Metales pesados.....	27
2.4.2.	Relave	27
2.4.3.	pH.....	27
2.4.4.	Conductividad eléctrica.....	27
2.4.5.	Rizomas.....	27
2.4.6.	Solubilidad	27
2.4.7.	Volatilidad	27
2.4.8.	Hiperacumulación	28
2.4.9.	Bioacumulación	28
CAPITULO III		29
MARCO METODOLÓGICO		29
3.1.	Tipo de investigación	29

3.2. Diseño de la investigación	29
3.2.1. Diagrama general de la investigación.....	30
3.3. Métodos o técnicas	37
3.4. Población y muestra.....	38
3.4.1. Población.....	38
3.4.2. Muestra.....	38
3.5. Instrumentos validados de recolección de datos.....	39
3.5.1. Materiales	39
3.5.2. Equipos.....	42
3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	43
CAPITULO IV	44
RESULTADOS.....	44
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
CAPITULO V	64
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIÓN	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXOS	73

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables.....	3
Tabla 2: Caracterización de residuos mineros en función del pH y CE.....	12
Tabla 3: Ventajas y desventajas de la fitorremediación	18
Tabla 4: Tratamientos	32
Tabla 5: Las técnicas e instrumentos de recolección de información.....	39
Tabla 6: Contenido de metales en el análisis foliar inicial	39
Tabla 7: Contenido de metales en el relave	40
Tabla 8: Composición del humus	40
Tabla 9: Composición del bioestimulante Algapak	41
Tabla 10: Contenido de metales en el agua de riego	42
Tabla 11: Crecimiento de las hojas por semana	46
Tabla 12: Resultado inicial del análisis foliar.....	48
Tabla 13: Resultado final del análisis foliar	49
Tabla 14: Concentración de cadmio y plomo en la raíz del Agave.....	50
Tabla 15: Análisis ANOVA de la concentración de Pb en la parte radicular.....	51
Tabla 16: Prueba de Tukey para la concentración de Pb en la parte radicular	51
Tabla 17: Resultados de la concentración inicial de relave.....	54
Tabla 18: Resultado de la concentración final de Cd y Pb en los sustratos.....	54

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1: Reducción del cadmio disponible mediante enmiendas orgánicas	13
Figura 2: Técnica de fitoextracción.....	16
Figura 3: Técnica de fitoestabilización	16
Figura 4: Técnica de fitovolatilización	17
Figura 5: Técnica de fitodegradación	17
Figura 6: Técnica de rizofiltración.....	18
Figura 7: Anatomía del Maguey	20
Figura 8: Etapas de la investigación.....	30
Figura 9: Extracción de hijuelos y de relave minero	31
Figura 10: Corte de la raíz.....	32
Figura 11: Mezcla de relave con humus en distintas proporciones para cada tratamiento (T1, T2, T3, T4 y T5)	33
Figura 12: Sembrado y etiquetado de cada tratamiento.....	33
Figura 13: Registros fotográficos.....	34
Figura 14: Tratamiento T1 con su respectiva repetición.....	35
Figura 15: Tratamiento T2 con su respectiva repetición.....	35
Figura 16: Tratamiento T3 con su respectiva repetición.....	36
Figura 17: Tratamiento T4 con su respectiva repetición.....	36
Figura 18: Variación del pH en los tratamientos.....	45
Figura 19: Variación de la conductividad eléctrica (CE) en los tratamientos	45
Figura 20: Longitud de las hojas del Agave	47
Figura 21: Longitud de la raíz.....	48
Figura 22: Concentración de cadmio en la parte foliar	49
Figura 23: Concentración de Plomo en la parte foliar	50
Figura 24: Concentración de cadmio y plomo en raíz	52
Figura 25: Concentración de cadmio en hoja y raíz	52
Figura 26: Concentración de plomo en hojas y raíz	53
Figura 27: Concentración inicial y final del Cd en los sustratos.....	55
Figura 28: Concentración inicial y final del Pb en los sustratos.....	55
Figura 29: Porcentaje de cadmio movilizado.....	56

Figura 30: Porcentaje de plomo movilizado	56
Figura 31: Factor de traslocación para el cadmio.....	57
Figura 32: Factor de traslocación para el plomo	58
Figura 33: Factor de bioconcentración para el cadmio.....	58
Figura 34: Factor de bioconcentración para el plomo	59



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La fitorremediación consiste en el uso de plantas nativas in situ o ex situ para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes.

Actualmente las principales preocupaciones ambientales son los depósitos de relaves mineros, que al ser abandonados estos se convierten en pasivos ambientales que son un riesgo permanente para el ambiente y para la salud. Esta investigación surge ante la búsqueda de una técnica natural, de bajo costo y eficiente remediación de relaves mineros, es así que nace la idea del uso de la especie *Agave americana L.* debido al potencial que tiene para adaptarse a condiciones climáticas desfavorables, con largos periodos de sequía y altas temperaturas. Sumado también que no existe investigaciones realizadas con esta especie vegetal.

Cen-Cen et al., (2015) indican que el *Agave tequilana* presenta una notable tolerancia a altas concentraciones de los distintos metales y así como la capacidad de transportar en altas cantidades estos metales al tejido aéreo. Basado es esta información previa se propuso el uso del *Agave americana L.* porque al pertenecer a la misma familia que el *Agave tequilana* la posicionarían como una excelente especie fitorremediadora de suelos contaminados, por lo tanto, es importante conocer la capacidad de fitorremediación de esta especie para considerarla como candidata en el cierre de componentes mineros tales como relaveras, realizando un aporte científico que beneficie en la recuperación de áreas degradadas.

El objetivo principal de la investigación es evaluar la capacidad fitorremediadora del *Agave americana L.* mediante la incorporación de Humus, cal y bioestimulante y como estas influyen en la concentración del Cadmio y Plomo en la parte radicular y foliar.

1.1. Planteamiento del problema

¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de la especie *Agave americana L.* mediante la incorporación de enmiendas (humus, cal y bioestimulante) en relaves mineros?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Agave americana L.* mediante la incorporación de enmiendas (humus, cal y bioestimulante) en relaves mineros.

1.2.2. Objetivo específico

- Evaluar el efecto de la incorporación de las enmiendas en la variación del pH y la conductividad eléctrica.
- Evaluar el efecto de las enmiendas en la variación del crecimiento de la especie *Agave americana L.*
- Evaluar el efecto de las enmiendas en la concentración de Cd y Pb en la parte radicular y foliar de la especie *Agave americana L.*
- Determinar el factor de traslocación y bioconcentración de la especie *Agave americana L.*

1.3. Hipótesis

El uso de la especie *Agave americana L.* y la incorporación de enmiendas (humus, cal y bioestimulante) en relaves mineros incrementa la concentración de metales en la parte radicular y foliar.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

Relave y Enmienda (Cal agrícola, Humus y Bioestimulante):

Factor que ha condicionado en forma determinante en la variable *Agave americana L.*

1.4.2. Variable dependiente

Agave americana L. Longitud de raíz, concentración de Cd y Pb en la raíz y en la parte aérea.

1.4.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Descripción	Indicadores	Unidad de medida
Relave	Es un sólido finamente molido de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico, etc. Además de restos de aditivos que se usaron para la extracción del mineral de interés (Loch Arellano, 2017).	Concentración de Pb y Cd.	mg/Kg
Causa	<p>Humus: Resultado de la ingesta y digestión del compost por las lombrices de tierra. Es de color marrón a negruzco, granulado, sin olor que contiene nutrientes biodisponibles para las plantas y es beneficioso para los microorganismos del suelo (Inia, 2008).</p> <p>Cal: Mezcla compuesta por Hidróxido de calcio, carbonato de calcio y otros derivados de Piedra caliza. Se usa para mejorar el pH del suelo cuando el suelo es ácido (Xuel et al., 2010).</p> <p>Bioestimulante: Sustancias o microorganismos que maximizan el potencial genético de la planta, provocando cambios en el estado hormonal, activación de procesos metabólicos, mejora en la eficiencia de la nutrición, estimulación del desarrollo y/o mejora ante la respuesta al estrés abiótico. Además, mejora las características agronómicas (García,2017).</p>	%	Kg

Variable	Descripción	Indicadores	Unidad de medida
Efecto <i>Agave americana L.</i>	Planta xerófita, adaptada a vivir en condiciones climáticas extremas, con largos periodos de sequía y altas temperaturas, con una notable tolerancia a altas concentraciones de los distintos metales iónicos, así como la capacidad de transportar en altas cantidades estos metales al tejido aéreo (Cen-Cen et al., 2015)	Longitud de la raíz	m
		Factor de Bioconcentración.	NE
		Factor de Traslocación.	NE

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Desde 1970 se viene implementando diversas formas de recuperar los sitios contaminados producto de las actividades industriales, minera, agropecuarias, artesanales y domesticas; siendo la fitorremediación una alternativa de bajo costo y amigable con el ambiente.

Los estudios relacionados a la fitorremediación de relaves son los siguientes:

2.2.1. A nivel internacional

En la investigación “Bioconcentración de Pb, Cd y As en biomasa de *Eleocharis macrostachya* (Cyperaceae)” realizada en México por Alderete-Suárez et al., (2019), se evaluó la capacidad de la especie vegetal *Eleocharis macrostachya* para remediar agua contaminada con plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) durante 210 días. Las plantas fueron recolectadas, lavadas y trasplantadas en macetas con arena por grupos de tratamiento: T1 (testigo), T2 (As 2 mg/L, Cd 10 mg/L, Pb 20 mg/L), T3 (As 4 mg/L, Cd 100 mg/L, Pb 200 mg/L) y T4 (As 8 mg/L, Cd 200 mg/L, Pb 400 mg/L). Al finalizar el ensayo se determinó los factores de bioconcentración (FBC) y traslocación (FT) por metal y tratamiento. El FBC para los tres elementos fue mayor a 1 en todos los tratamientos y el FT para los tres elementos fue menor a 1. En esta investigación se determinó

que la *E. macrostachya* es una especie vegetal fitoextractora, siendo capaz de acumular y translocar Pb, Cd y As.

En la investigación realizada por Ramírez Pino, (2012) denominada “Evaluación ex-situ del establecimiento de Tuna Criolla sobre relaves mineros acondicionados” se evaluó la adaptación de Tuna criolla sobre relaves mineros acondicionados con guano de cabra y rípios de lixiviación en distintas dosis. El ensayo duró 20 semanas bajo condiciones de laboratorio y se evaluó el desarrollo de biomasa aérea y radical y la absorción de metales (Cu, Zn y Fe) en la parte aérea y radical de la tuna. Los resultados de la investigación afirman que la aplicación de guano de cabra y de rípio de lixiviación permite un aumento en la capacidad de enraizamiento de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en relaves mineros y con respecto a la absorción de metales, el guano de cabra y el rípio de lixiviación disminuyen la biodisponibilidad de estos, reduciendo su traslocación a órganos y estructuras aéreas.

En la evaluación del uso de *Atriplex nummularia* con la aplicación de enmiendas húmicas para la fitoestabilización de relaves mineros en el tranque de relaves Ovejería en Chile, realizada por Loch Arellano, (2017), se implementó un ensayo en invernadero con macetas con tres sustratos: T1 (relave), T2 (Relave + Perl Humus) y T3 (Relave + compost) con la proporción de 5% m/m de enmienda orgánica en un periodo de 60 y 120 días. Al término de la investigación se estableció que la adición de la enmienda Perl Humus tiene ventajas sobre el compost, principalmente para la acumulación de Cu y S en la raíz. Por tal motivo el autor recomienda el uso de la tuna y la enmienda orgánica Perl Humus para la estabilización química de relaves con alto contenido de Cu y S.

2.2.2. A nivel nacional

En la investigación Técnicas de fitorremediación de relaves realizada en Cañete por Cuadros Mejía (2018), se usó la planta Cola de Mono para estabilizar y extraer los metales pesados, mediante el acondicionamiento del relave y la adición de enmiendas orgánicas; para lo cual se acondicionó tres tratamientos cada una de 200 kg de relave en un cama de 1x1x0.20 metros con 5 unidades de Cactus. Los resultados confirmaron que el acondicionamiento con la adición de CaCo₃ y materia orgánica (Compost) y técnicas agronómicas hacen un medio adecuado en el relave para la adaptación y desarrollo de la Cola de mono. Enfatizando a la vez que el tipo de diseño es una solución para manejar adecuadamente el sustrato y las plantas.

En la evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros realizada en la ciudad de Lima por Calligos Rodríguez, (2016), se acondicionó 5 tratamientos que contenían compost, fertilizante orgánico, suelo natural, lodo bentónico e hidrogel y los cuales fueron mezclados junto con el relave minero, adicionando el *Vetiver Grass*; en un período de 90 días y bajo condiciones de invernadero. Al finalizar la evaluación se determinó que la aplicación de lodos bentoníticos e hidrogel como enmienda, favorece la mayor bioacumulación de Cr, Cu, Cd y Fe en hojas en comparación a las raíces.

En el ensayo “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados” realizado en condiciones de invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región Lima realizada por Jara-Peña et al., (2014), se basó en 20 tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos con 30%, 60%, 100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. Las especies vegetales usadas fueron *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva*

echinata, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*; las cuales fueron plantadas en macetas y evaluadas durante un año. Los resultados del ensayo determinaron que las cinco especies evaluadas tuvieron menores valores de rendimiento de biomasa en el tratamiento de 100% de relave de mina y poseen la estrategia de acumular metales en las raíces, independientemente del nivel de contaminación del sustrato.

2.2.3. A nivel local

En la investigación sobre “la capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC.” realizada por León Menacho (2017), se determinó la capacidad de acumulación de metales pesados de 3 especies altoandinas expuestas a suelos con metales pesados y suelos de mina. La especie *Werneria nubigena* Kunth presentó la mayor concentración de Zn en la parte aérea para los grupos de suelo con metales pesados y suelo de mina. La especie *Juncus arcticus* Willd presentó la mayor concentración de Cu y Zn en la parte aérea para el grupo suelo con metales pesados, y Cu en la raíz para el grupo suelo de mina. En esta investigación se determinó que las especies altoandinas *Achyrocline alata* (Kunth) DC., *Werneria nubigena* Kunth y *Juncus arcticus* Willd evaluadas en condiciones de invernadero, presentaron un alto potencial fitorremediador debido a su alta tasa de propagación (semillas y vegetativos) y su capacidad de acumular metales pesados.

En la investigación “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora santa rosa de Jangas” realizada por Trujillo, (2013), se determinó los niveles de concentración de metales pesados en el suelo y en la parte aérea y radicular de las especies; *Solanum hispidum* (ñawipashtaq), *Schinus molle* (Molle) y *Cortaderia rudiusscula* (Cortaderia). Al finalizar la investigación se

determinó que el mayor factor de translocación de plomo, cadmio y zinc fue en *Solanum hispidum*, ya que esta especie vegetal trasladó eficazmente estos metales de la raíz a la parte aérea, con respecto a la *Schinus molle* el factor de bioconcentración fue de 28.7 para boro, y para la especie *Cortaderia rudiusscula* presentó un FBC aérea de 21.3 para boro, lo que indica que estas dos especies son hiperacumuladoras.

En el ensayo “adaptación de especies vegetales para la cobertura vegetal de los relaves mineros realizado en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas” realizado por Hidalgo Camarena et al., (2010), se evaluó la adaptación de las diferentes especies a las condiciones edáficas y ecológicas de la presa de relaves, estas especies fueron preseleccionadas en cuanto a profundidad de raíces, biomasa, tamaño de planta, frecuencia, diámetro de tallo y cobertura. Los resultados de la investigación mostraron que las especies más adecuadas para la fitoestabilización de la superficie de la relavera por sus diversas características favorables eran el “kikuyo” y la asociación ray grass – trébol.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Relaves Mineros: Características Generales e Impactos

En relación a relaves mineros The Mining Association of Canadá, (2019) señala lo siguiente:

Los relaves son subproductos de la minería generados durante los procesos de separación del material de valor de su roca o suelo de origen. También denominados jales o colas. Estos son almacenados en depósitos de relaves que es un componente minero que tiene un diseño de ingeniería específico para el almacenamiento de materiales sólidos y líquidos provenientes del proceso metalúrgico (p. 12).

Esto quiere decir que los relaves mineros tienen una naturaleza polimetálica y su impacto en el ambiente puede ser

catastrófico si no se plantean medidas de recuperación de estos ambientes donde son depositados.

Según Ginocchio & Leon (2011) Estos depósitos de relave pueden generar diversos impactos ambientales, particularmente cuando su disposición, manejo y abandono son inadecuados. Estos impactos varían entre la disminución en la calidad estética del paisaje, la pérdida de hábitats naturales, la contaminación de los suelos y de las aguas con metales pesados y los efectos negativos potenciales para la salud humana y los ecosistemas. Por tal motivo la importancia de plantear alternativas para controlar estos contaminantes.

2.3.2. Metales en el Ambiente

Los metales pesados y algunos metaloides constituyen un importante grupo de contaminantes, algunos de estos elementos son constituyentes minoritarios de los seres vivos (Domínguez, 2010), estos elementos químicos tienen una concentración inferior al 0,1 % en especie de plantas, independientemente de que sean esenciales para su metabolismo o tengan efectos tóxicos. Los elementos trazas, como el arsénico (As), cadmio (Cd) o talio (Tl), son poco abundantes en el agua y el suelo, en condiciones naturales (Cabrera et al., 2007). Sin embargo, la intensificación de las actividades humanas durante el último siglo está provocando importantes alteraciones biogeoquímicas en los ecosistemas de manera que las entradas antropogénicas de elementos traza a los ecosistemas se ha incrementado a escala global (Domínguez, 2010). Los metales y metaloides As, Cd, Hg, Pb y Se son los más importantes en términos de ecotoxicidad y afectación de la cadena trófica.

Los metales pesados con mayor probabilidad de encontrarse en un relave minero en el Perú corresponden a Hierro (Fe), Molibdeno (Mo), Cadmio (Cd), Cromo, (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Cobre (Cu).

García et al., (2002) plantea que los metales pesados los podemos encontrar como iones libres en la disolución del suelo, adsorbidos en las partículas coloidales del mismo, formando complejos organominerales solubles o precipitados en la fracción sólida del suelo. En general, sobre estas formas del metal pesado influyen las condiciones del medio, el tipo de planta y microorganismos que subsistan en el mismo.

2.3.3. Estabilización de depósitos de relaves.

Existen numerosos métodos fisicoquímicos que al ser aplicados en la superficie de los depósitos de relaves impiden la dispersión física y la reactividad química del material. Algunas de estas tecnologías consisten en la cobertura de los depósitos de relaves con cubiertas de agua, con geomembranas, con polímeros impermeabilizantes, con cemento y con capas de rocas o de suelo. Estas tecnologías tradicionales son costosas y no viables en todas las zonas climáticas por lo cual se optan por métodos o tecnologías más baratas, ambientalmente más adecuadas y que permitan la posibilidad del uso posterior del área a recuperar. Dentro de los métodos emergentes y con mejor relación costo-efectividad están las tecnologías verdes, como la fitoestabilización.

La fitoestabilización realizados en depósitos de relaves y en suelos contaminados con metales en Europa, Estados Unidos, Australia, Sudáfrica y Canadá tuvieron resultados exitosos y es una tecnología emergente que va teniendo cabida en la industria minera para recuperar sitios contaminados por metales pesados. La fitoestabilización se define como el uso simultáneo de plantas y de enmiendas orgánicas e inorgánicas para estabilizar in situ metales tóxicos, presentes en los depósitos de relaves o un suelo contaminado, al dejarlos no biodisponibles. Las plantas que se pretenden usar para fitoestabilizar tienen que ser hiperacumuladoras y a la vez usar enmiendas orgánicas e inorgánicas para lograr la

estabilización física, química y biológica de los relaves (Ginocchio & Leon, 2011).

En función al pH y conductividad de un relave minero se determinan las medidas apropiadas para realizar la fitorremediación.

Tabla 2

Caracterización de residuos mineros en función del pH en pasta y la Conductividad (Environment Australia, 1997)

Tipo de material	Características geoquímicas	Recomendaciones
IA	No forma acidez Nada, baja o moderada salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) < 0.8 dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) < 1.5 dS/m	Apropiado para trabajos de restauración
IB	No forma acidez Alta salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) < 0.8-1.3dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) < 1.5-2.5 dS/m	No deseable para recuperación de tierras salinos
IC	No forma acidez Extrema salinidad NAG: pH > 4 y EC (1:5) < 1.3 dS/m NAG: pH > 4 y EC (1:2) < 2.5 dS/m	No deseable para recuperación de tierras salinos
II	Potencial formador de acidez Riesgo bajo 3 > NAG: pH < 4	Estos materiales pueden convertirse en tipo I si se mezclan con caliza u otros materiales que neutralizan la acidez
III	Potencial formador de acidez Riesgo alto NAG: pH < 3	En restauración poner una capa compacta de material tipo IC sobre el tipo III antes de colocar los suelos de cobertura (arcillas, tierra vegetal y otros). Estos materiales pueden convertirse en tipo I si se mezclan con caliza u otros materiales que neutralizan acidez

Nota. EC (1:5) = Conductividad eléctrica en mezcla de 1 parte sólido y 5 partes de agua.

2.3.4. Cadmio en el suelo

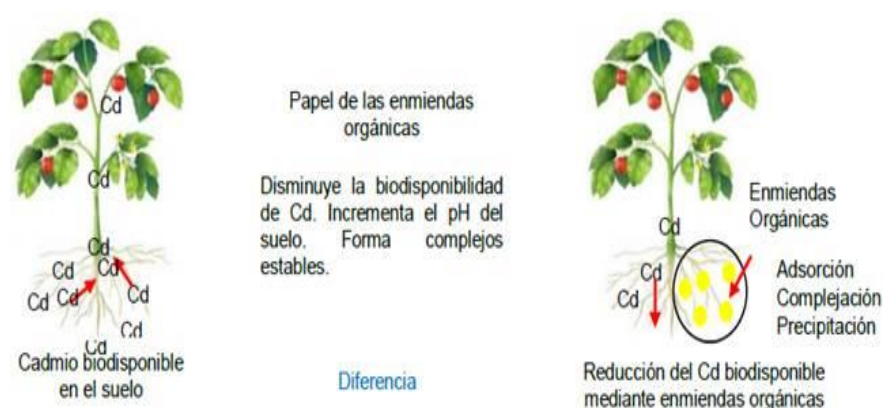
Según Huaraca-Fernandez et al., (2020) el cadmio es un metal pesado tóxico sin funciones biológicas esenciales para las plantas, animales y humanos; se encuentra principalmente como un catión divalente, que forma complejos con otros aniones.

El cadmio biodisponible es la fracción del Cd total en el agua intersticial y las partículas del suelo, que está fácilmente disponible para los organismos receptores (Khan et al., 2017). Estos organismos receptores son plantas, microorganismos, animales, etc.

Según Houben et al., (2012) los principales factores que influyen en la biodisponibilidad de Cd en el suelo son: pH del suelo, materia orgánica y la CIC. El pH es uno de los factores determinantes en la absorción de cadmio, a medida que el pH disminuye, aumenta la absorción del Cd por las plantas y al incrementarse el pH en el suelo, el cadmio es removido y adsorbido por los coloides del suelo, restringiendo su movilidad y biodisponibilidad. En tal sentido la aplicación MO a un suelo contaminado puede reducir la capacidad de extracción y la biodisponibilidad de Cd, Zn y Pb

Figura 1

Reducción del cadmio disponible mediante enmiendas orgánicas,



Fuente: Khan et al.,(2017)

2.3.5. Toxicidad del cadmio en plantas

El cadmio es un inhibidor de los procesos fisiológicos de las plantas, reduciendo el crecimiento, la actividad fotosintética, la transpiración y generando estrés oxidativo. La muerte de la planta va depender del tiempo de exposición, concentración de metal y las adaptaciones específicas que desarrollan.

Los primeros síntomas visibles de que causa la toxicidad por cadmio son clorosis y enrollamiento de hojas (Hernández-Baranda et al., 2019). La clorosis consiste en el amarillamiento de las hojas por la falta de clorofila debido a la disminución de la actividad fotosintética a causa del cadmio.

2.3.5.1. Absorción y transporte del cadmio en las plantas.

El cadmio ingresa a la planta generalmente en forma de Cd^{2+} , a través de la capa de células epidérmicas y dentro de ella, es absorbida por los pelos radicales (Hernández-Baranda et al., 2019)

Se han propuesto tres vías de entrada de Cd en la raíz (Song Y, L, & X, 2017):

- Vía apoplasto, el CO_2 (ac) se disocia en H^+ y HCO_3^- en la cual el H^+ se intercambia con el Cd^{2+} del suelo y el metal se adsorbe en la superficie de las células de la epidermis de la raíz.
- Vía simplasto, ingresa a través de los transportadores de metales esenciales Fe^{2+} , Zn^{2+} y Ca^{2+} como es el IRT1 y LCT.
- Secreción de ácidos mugineicos que forman complejos con el Cd^{2+} , ingresa a través de las proteínas YSL en forma de quelatos.

En la planta, el cadmio se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células, y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (Chan y Hale 2004).

2.3.6. Plomo en el suelo

En el suelo el plomo se encuentra por lo general en forma de Pb^{+2} y está fuertemente retenido, ya sea por el humus, sobre todo si contiene grupos -SH, o por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente. Si el suelo tiene alto porcentaje de carbonato de calcio, se forma carbonato de plomo y disminuye la absorción por las plantas (Ruda de Schenquer et al. 2004).

2.3.7. Toxicidad de plomo en las plantas

La absorción vegetal del Pb se da principalmente por la vía estomática, esta absorción varía significativamente en relación con la concentración presente en los suelos, así como por las formas en que el Pb se presenta, el tiempo de exposición y la habilidad de la especie vegetal para acumular el plomo. El Pb presenta sinergismo con el Cd (Callirgos Rodríguez, 2016).

Existen dos tecnologías mediante las cuales puede llevarse a cabo la fitorremediación de suelos contaminados con Pb. La fitoestabilización, en la cual el Pb es inmovilizado en el suelo por las raíces de la planta y la fitoextracción, en la que el Pb es tomado por la raíz y transportado a la parte aérea.

2.3.8. Fitorremediación

La fitorremediación se basa en el uso de plantas para eliminar, retener o transformar contaminantes peligrosos para el ambiente (García et al., 2002). Además, se puede adicionar enmiendas orgánicas e inorgánicas y hacer uso de técnicas agronómicas para incrementar la efectiva (Chaney et al., 1997) para así evitar la migración de los contaminantes a los componentes agua, suelo y aire.

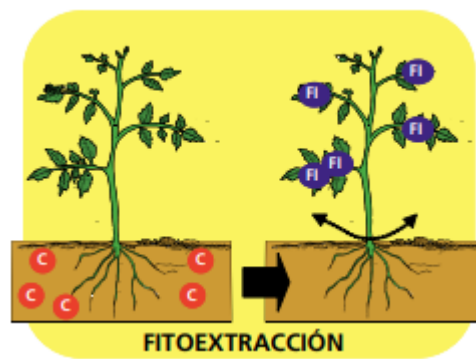
Tecnologías agrupadas bajo el concepto genérico de fitorremediación son:

Fitoextracción: Las raíces de las plantas hiperacumuladoras absorben los contaminantes (C) desde el sustrato y los concentran

en sus tejidos aéreos (FI, forma inocua)(Ginocchio C & Leon L, 2011).

Figura 2

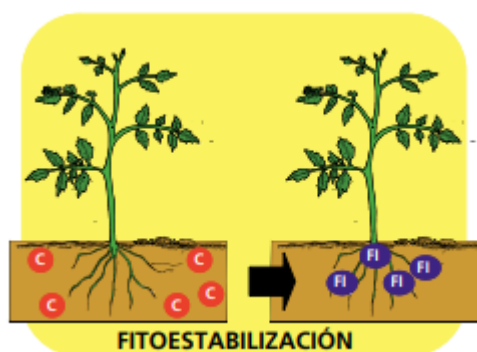
Técnica de fitoextracción



Fitoestabilización: uso de plantas tolerantes para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio. Los contaminantes (C) son complejados, precipitados, absorbidos y/o adsorbidos por las raíces de las plantas, donde son acumulados en formas inocuas (FI) (Ginocchio C & Leon L, 2011)

Figura 3

Técnica de fitoestabilización

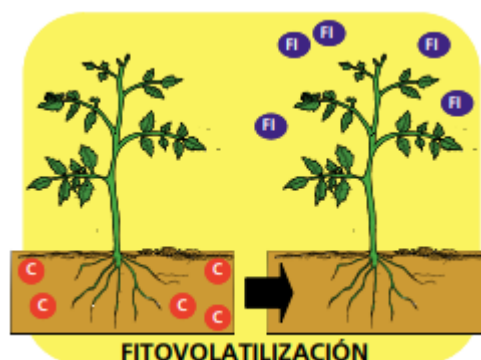


Fitoimmobilización: uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo.

Fitovolatilización: uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización bajo forma inocuo (FI) (Ginocchio C & Leon L, 2011).

Figura 4

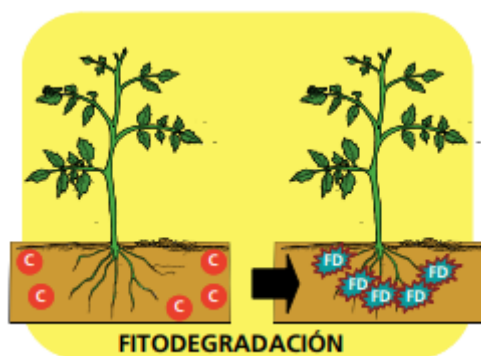
Técnica de fitovolatilización



Fitodegradación: uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos (FD). Este método no es aplicable a los metales y metaloides (Ginocchio C & Leon L, 2011).

Figura 5

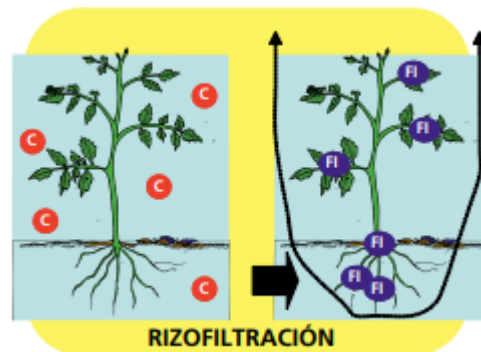
Técnica de fitodegradación



Rizofiltración: uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Las plantas absorben los contaminantes de interés (C) desde el medio líquido y los concentran en sus tejidos (FI, formas inocuas) (Ginocchio C & Leon L, 2011).

Figura 6

Técnica de rizofiltración



Para la fitorremediación de relaves es importante el uso de un tipo particular de plantas tolerantes a concentraciones elevadas de metales y de acondicionadores de sustrato adecuados para lograr la estabilización física, química y biológica de los relaves (Ginocchio & Leon, 2011).

Las plantas usadas para la fitorremediación deben ser endémica no comestibles y tolerante a altas concentraciones de metales pesados.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
1. Se puede realizar in situ y ex situ	1. En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
2. Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, evitando la contaminación a través del aire o del agua.	2. El crecimiento de las plantas está limitado.
3. Es una tecnología sustentable.	3. En el caso de la Fito volatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
4. Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.	4. No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
5. Es de bajo costo.	
6. No requiere personal especializado para su manejo.	

Ventajas	Desventajas
7. No requiere consumo de energía	5. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
8. Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales	6. Se requieren áreas relativamente grandes.
9. El impacto en el ambiente no es perjudicial.	7. En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos.
10. Mejora las propiedades físicas y químicas del suelo por la presencia de especies vegetales.	
11. Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos	
12. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa y metales).	

Fuente: (Delgadillo-López et al., 2011)

2.3.9. Especie *Agave americana L.*

En el Perú, dentro de las especies vegetales con un potencial de fitorremediación interesante es el *Agave americana L.* porque es una especie que crece aledaña a los depósitos de relave y se desarrolla en lugar pobres en nutrientes, además requiere poca agua para desarrollarse.

Características

Nombre común: Maguey

Planta con hojas suculentas arregladas en rosetas de 1-2 m de alto y de 2-3 m de ancho, tiene hojas lanceoladas engrosadas en la base y es de color gris-glaucos claro a verde claro, tiene cutícula lisa; dientes de longitud variable de color café a grisáceos. Espinas de 3.5 cm de largo cónicas a subuladas. Inflorescencia de 5.9 m de altura. Flores 70-100 mm de largo (Castillo et al., 2020)

Es una suculenta desértica perenne común, pueden tolerar calor intenso y crecen fácilmente en tierras áridas o paisajes semidesérticos donde hay un mínimo anual de agua de lluvia de aproximadamente 250mm, y con temperatura mínima de 10 grados Celsius (Cummins, 2021). Básicamente no requieren riego,

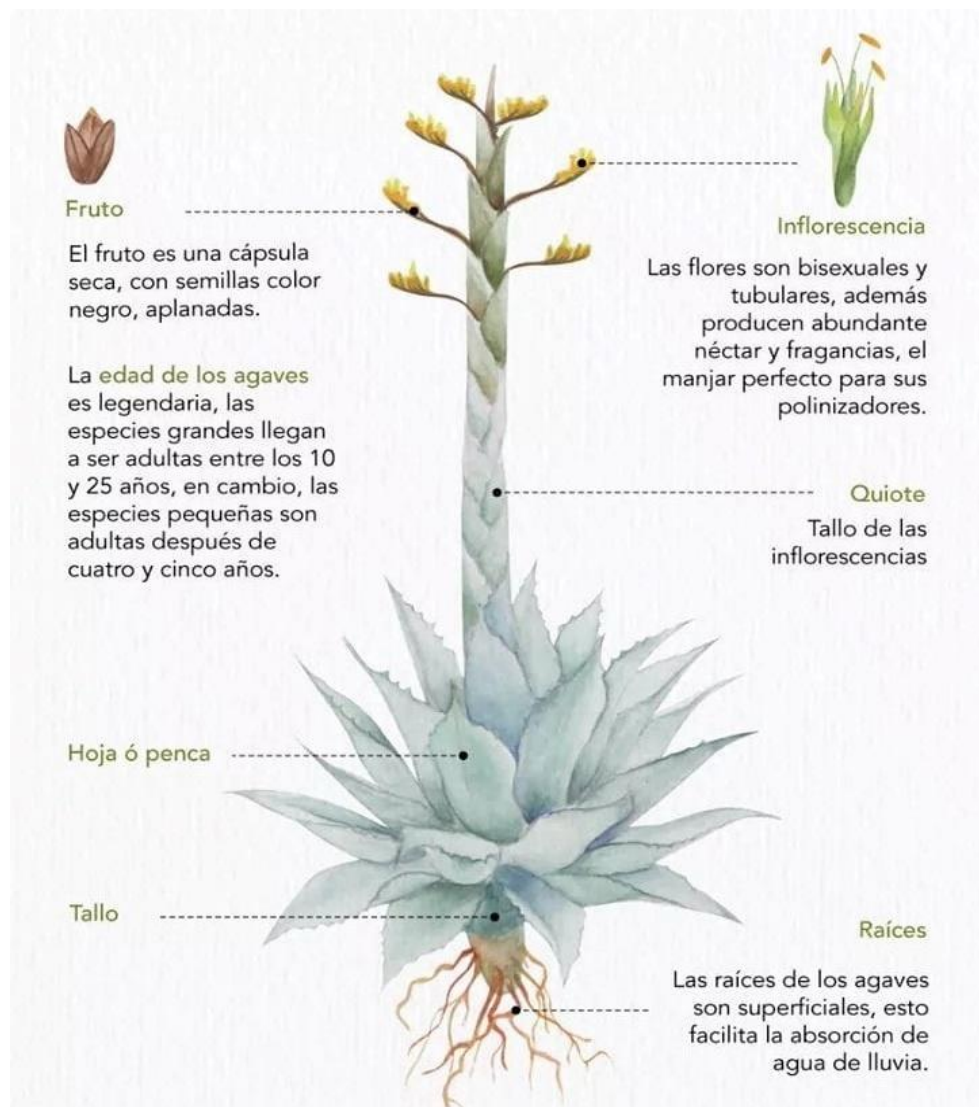
absorben la humedad directamente del aire y la almacenan en sus hojas gruesas y piña.

Los agaves se reproducen de forma asexual desarrollando hijuelos y a través de semillas (Cummins, 2021)

El género *Agave* posee un alto nivel de tolerante a la presencia de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb y Zn, por lo que se puede usar para fitoestabilizar y remediar suelos contaminados (Aguilar et al., 2020).

Figura 7

Anatomía del Maguey



Fuente: Adaptada por García Abisai (2007)

2.3.10. Enmienda

Son sustancias que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estas pueden ser orgánicas o también mineral (Damián Suclupe et al., 2018)

a. Humus

Es el resultado de la ingesta y digestión del compost por las lombrices de tierra y es de color marrón a negruzco, granulado, sin olor que contiene nutrientes biodisponibles para las plantas y es beneficioso para los microorganismos del suelo (Inia, 2008). Además de aportar nutrientes, la materia orgánica contribuye a mejorar las propiedades físicas de un sustrato, tales como la cohesividad del material particulado, la capacidad de retención de agua, la tasa de infiltración, el grado de compactación y la densidad aparente, entre otros. Por lo tanto, su ausencia en los relaves resulta en efectos deletéreos para las plantas (Ginocchio & Leon, 2011).

Ruesta Campoverde, (2013) señala que el humus presenta las siguientes propiedades:

Nivel físico

- Mejora la aireación, la capacidad de retención de agua y nutrientes.
- Mejora la capacidad de germinación de las semillas
- Reduce la erosión del suelo
- Mejora la textura y estructura del suelo, aligerando los terrenos arcillosos.

Nivel químico

- Enriquece el suelo de sustancias orgánicas y minerales para las plantas.
- Alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos permitiendo una entrega inmediata de nutrimentos asimilables.

- Regula la salinidad.
- Favorece la asimilación de nitrógeno, potasio y la solubilización del fósforo.

Nivel biológico

- Evita el shock del trasplante, favorece y acelera el crecimiento de las raíces de las plantas.
- Promueve la formación de micorrizas, activando los procesos biológicos del suelo.
- Aumenta la capacidad inmunológica y la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, así como tolera la sequía.
- Siembra vida, inocula grandes cantidades de microorganismos beneficiosos al suelo, cuya carga microbiana es alta.

b. Cal

Es el resultado de una mezcla compuesta por Hidróxido de calcio, carbonato de calcio y otros derivados de Piedra caliza. La cal se usa para mejorar el pH del suelo cuando el suelo es ácido. La aplicación de cales en suelos ácidos tiene un efecto positivo, incrementando la comunidad de microorganismos benéficos del suelo como bacterias, hongos y actinomicetos (Xuel et al., 2010)

c. Algapak

ALGAPAK es un extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*), compuesto por macro y microelementos quelatados naturalmente, fitohormonas (giberelinas, auxinas y citoquininas), proteínas, vitaminas, carbohidratos y aminoácidos libres que actúan como un bioestimulante del metabolismo de las plantas y favorece el equilibrio de las funciones fisiológicas al nivel de las células de manera integral.

2.3.11. Indicadores de Fitorremediación

- **Factor de traslocación**

Es la relación entre la concentración de metal en la raíz y la concentración del metal en las hojas, el valor comparativo es 1. Un valor mayor a 1 significa que la planta trasloca el metal de su raíz hacia sus hojas (Argota Pérez et al., 2014).

$$FT = C_H \text{ mg/kg} / C_R \text{ mg/kg}$$

Donde:

C_H = Concentración en hojas

C_R = Concentración raíz

FT= Factor de traslación

- **Factor de Bioconcentración**

El factor de bioconcentración es la relación de la concentración del metal en la planta con respecto al suelo. Un valor superior a 1 implica que es factible utilizar la especie en fitoextracción. Los metales absorbidos por las plantas pueden ser extraídos de la biomasa cosechada y después ser recuperados (Ramírez Gottfried et al., 2019)

$$FBC = C_T \text{ mg/kg} / C_R \text{ mg/kg}$$

Donde:

C_T = Concentración planta

C_R = Concentración suelo

FBC= Factor de bioconcentración

2.3.12. Factores que influyen en la biodisponibilidad de metales

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH se mide con una escala que va del 1 al 14 y donde el valor neutro es el 7, los valores menores de 7 son ácidos y los mayores son alcalinos, el valor óptimo de pH para el crecimiento de las plantas es entre 6.0 y 7.5 (Acosta, 2007).

El pH del suelo es uno de los factores determinantes en la biodisponibilidad de los metales (McBRIDE et al., 1997). Además, afecta a los procesos de ingreso del metal a las raíces de las plantas

porque tienen que estar en solución y en forma de iones (Rieuwerts et al., 1998)

En suelos con bajo pH, se produce una competencia de los iones H⁺ con los cationes metálicos por los sitios de intercambio. A pH bajo se produce la desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución suelo y su biodisponibilidad y al incrementar el pH los metales pesados son removidos de la solución suelo y adsorbidos por los coloides del suelo, disminuyendo su biodisponibilidad (Basta y Tabatabai, 1992; Alloway, 1995, Lassatt, 2001).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Es la cantidad de cationes que el complejo de cambio puede intercambiar con la solución del suelo y es determinante en la nutrición vegetal por el intercambio de iones entre las partículas del suelo y las raíces de las plantas.

La CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de arcilla (Yong et al., 1990). En general, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. Así, un suelo CIC alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales (Silveira et al., 2003)

- **Materia orgánica**

La materia orgánica del suelo (MO) tiene la capacidad de retener metales formando la asociación metal-orgánicas tanto en solución como en las superficies sólidas de los componentes nativos del suelo o de cualquier material agregado (Silveira et al., 2003).

El humus es la materia orgánica estabilizada y puede quelar metales y formar complejos estables y contribuir a una reducción de la toxicidad. (Silveira et al., 2003). Además, el humus no se puede descomponer fácilmente debido a sus interacciones íntimas con las fases minerales del suelo y es químicamente complejo para ser

utilizado por la mayoría de los organismos he ahí su gran utilidad en la fitorremediación de suelos por la capacidad de retener metales.

McBride (1989) sugirió la siguiente secuencia de afinidad de iones metálicos divalentes por la materia orgánica: Cu> Ni> Pb> Co> Ca> Zn> Mn> Mg. En general, cuanto más electronegativo es el ión metálico, más fuerte es el enlace formado con la materia orgánica.

- **Conductividad Eléctrica (CE)**

La CE mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica y la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. A mayor conductividad eléctrica mayor concentración de sales (INTAGRI, 2017). Las unidades utilizadas para medir la CE son dS/m.

- **Contenido y tipo de arcilla**

Por lo general las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas negativas en su superficie. Estas cargas son responsables de la CIC del suelo porque limitan el movimiento de los cationes metálicos de la solución del suelo, disminuyendo su solubilidad y biodisponibilidad.

Los suelos de tipo arcilloso retienen más metales por adsorción en el complejo de intercambio de los minerales de la arcilla. Por el contrario, los de tipo arenoso poseen una menor capacidad de fijación, pudiendo lixiviar y contaminar el nivel freático. Cabe recalcar que la importancia de los minerales de arcilla como adsorbentes, es secundaria cuando en un suelo existe abundante materia orgánica y/o oxihidróxidos de hierro, que son componentes del suelo más competitivos (Galán, 2000).

- **Condiciones Redox**

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y afecta su solubilidad (Yaron et al., 2012).

- **Óxidos de hierro, manganeso y aluminio**

Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni. Esto va depender del pH.

- **Enmienda**

Es un sustrato que al adicionarse al suelo incrementa la estabilidad de los agregados, la capacidad de retención de la humedad y aumenta la CIC (Ginocchio C & Leon L, 2011), favoreciendo la sobrevivencia y el desarrollo inicial de las especies vegetales porque mejora notablemente las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los sustratos (Santibáñez, 2005). Por tal motivo la adición de enmiendas podría acelerar la fitorremediación de relaves mineros favoreciendo el establecimiento y crecimiento de las plantas, mejorando subsecuentemente los procesos de fitoestabilización y fitoextracción de metales pesados Pino (2012)

2.3.13. Mecanismo de movilización de los metales en el suelo

Los metales pesados presentes en el suelo pueden ser considerados esenciales y tóxicos. Estos están íntimamente relacionados con la propia litología del terreno, pero también pueden proceder de contaminaciones exógenas.

- **Rutas para el transporte de elementos traza en el suelo**

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir diferentes vías:

1. Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio.
2. Adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo.
3. Asociados con la materia orgánica del suelo
4. Precipitados como sólidos puros o mixtos.
5. Absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
6. Pasar a la atmósfera por volatilización
7. Ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Metales pesados

Se refiere a todo elemento químico metálico que tenga una densidad relativamente alta y que sea tóxico o venenoso en concentraciones pequeñas

2.4.2. Relave

Es un sólido finamente molido de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico, etc. (Loch Arellano, 2017)

2.4.3. pH

Indica el grado de acidez o alcalinidad del suelo (Pérez & Del Real Laborde, 2007)

2.4.4. Conductividad eléctrica

Se expresa en mmhos/cm o dS/m, y sirve para saber si hay o no acumulación de sales solubles.

2.4.5. Rizomas

Son tallos subterráneos que crecen generalmente en un plano horizontal, paralelo a la superficie del terreno. A diferencia de las raíces, los rizomas poseen yemas en la cara superior de donde se originan hojas y partes aéreas que conformarán una nueva planta y por la cara inferior generan raíces adventicias (Pérez & Del Real Laborde, 2007).

2.4.6. Solubilidad

Es la cantidad de un elemento o compuesto que puede disolverse en agua (SEPULVEDA, 2005).

2.4.7. Volatilidad

Es la tendencia de un compuesto o un elemento para moverse de una fase líquida o sólida a una gaseosa (SEPULVEDA, 2005).

2.4.8. Hiperacumulación

Son especies vegetales que tienen la capacidad de concentrar grandes cantidades de metales en sus tejidos sin presentar síntomas de toxicidad (Llugany et al., 2007).

2.4.9. Bioacumulación

Es un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo en un cierto período de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova et al, 2004).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es cuantitativo debido a que representa un conjunto de procesos organizado de manera secuencial para comprobar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación fue experimental debido a que se manipula las variables independientes Relave y Enmienda (Cal, Humus y Bioestimulante) a fin de observar resultados finales en la variable dependiente *Agave americana L.* (longitud de raíz, concentración de Cd y Pb en la parte radicular y foliar).

3.2.1. Diagrama general de la investigación

Figura 8

Etapas de la investigación.



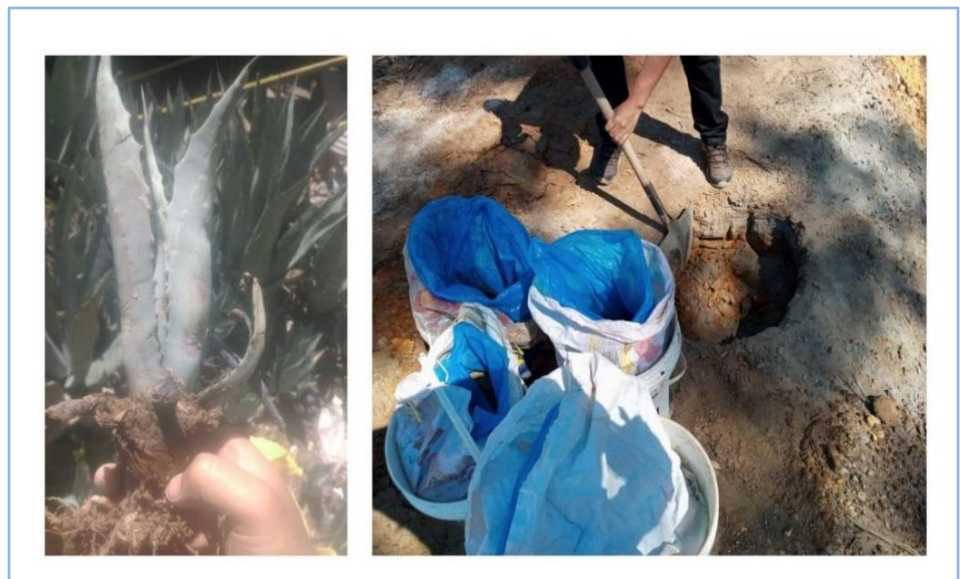
a. Selección y extracción.

Para la selección se consideraron los hijuelos más vigorosos, sanos y de colores intensos. Se realizó un corte transversal del rizoma que une al hijuelo con la planta madre con una pala recta.

La extracción de las muestras de relave fue a 20 cm de profundidad en la planta concentradora de Jangas en la provincia de Huaraz - Ancash

Figura 9

Extracción de hijuelos y de relave minero.



Se cortaron las raíces del *Agave americana L.* con un corte transversal, para luego desinfectar con una solución de hipoclorito de sodio al 10 % aplicada por aspersión a las zonas de corte. Se dejó secar bajo sombra por 7 días para evitar la formación de hongos y patógenos.

Figura 10

Corte de la raíz del Agave americana L.



b. Preparación del sustrato

Consistió en 4 tratamientos (T1, T2, T3, T4) y una muestra testigo control (T5), cada uno de ellos constó de 3 repeticiones, haciendo un total de 15 muestras a evaluar durante toda la fase experimental. En cada una de las macetas se sembró 1 hijuelo.

Tabla 4

Descripción de los tratamientos

Descripción	Tratamiento
Relave (1.50 kg), cal (40 g), 10% Humus (0.150 kg) y bioestimulante (0.5 ml/200 ml)	T1
Relave (1.50 kg), cal (40 g), 25% Humus (0.380 kg) y bioestimulante (0.5 ml/200 ml)	T2
Relave (1.50 kg), cal (40 g), 35% Humus (0.530 kg) y bioestimulante (0.5 ml/200 ml)	T3
Relave (1.50) kg, cal (40 g), 50% Humus (0.750 kg) y bioestimulante (0.5 ml/200 ml)	T4
Relave (testigo) 1.50 kg	T5

Figura 11

Mezcla de relave con humus en distintas proporciones para cada tratamiento (T1, T2, T3, T4 y T5)



c. Sembrado

Se sembró en macetas de 3.5 kg a una profundidad de 5 cm, luego se procedió a regar con una solución de bioestimulante ALGAPACK en proporción de 0.5ml/200ml para incrementar la tolerancia al estrés y facilitar la asimilación de nutrientes y mejorar la eficiencia del metabolismo de las plantas.

Se suministró agua potable para el riego y la periodicidad de riego fue de tres veces por semana durante 120 días, mediante un sistema de riego manual.

Figura 12

Sembrado y etiquetado de cada tratamiento.



d. Registro de datos biométricos y fotográficos.

Previo y posterior a la fase experimental se realizó la medición de la longitud de las hojas mediante una regla milimétrica y se registraron estas mediciones durante cada semana de estudio. Además, se realizó un monitoreo y registro fotográfico a lo largo de la investigación.

La medición de la raíz se realizó después de los 120 días, para verificar la adaptación del Maguey.

Figura 13

Registros fotográficos de los tratamientos



e. Análisis químicos

Las muestras fueron recolectadas y llevadas al laboratorio de calidad ambiental para su respectivo análisis químico.

En la figura 14 se muestra abundante desarrollo de las raíces verticales y su amplia distribución lateral en todas las repeticiones del T1.

Figura 14

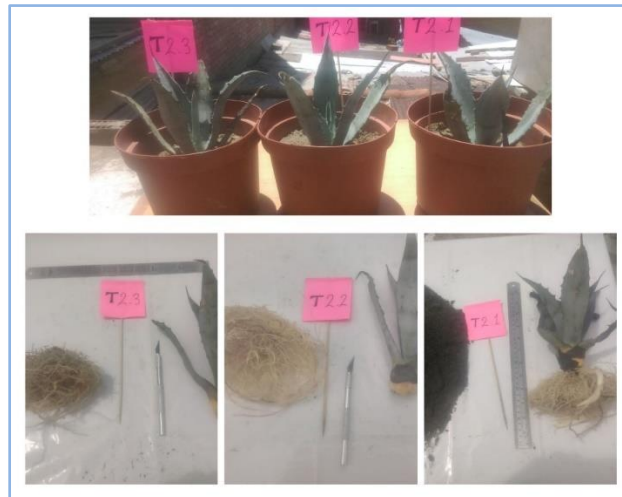
Tratamiento T1 con su respectiva repetición.



En la figura 15 se muestra abundante desarrollo de las raíces verticales y su amplia distribución lateral en todas las repeticiones del T2. Además, se observó la formación de hijuelos.

Figura 15

Tratamiento T2 con su respectiva repetición.



En la figura 16 se muestra abundante desarrollo de las raíces verticales y su amplia distribución lateral en todas las repeticiones del T3. Además, se observó la formación de hijuelos.

Figura 16

Tratamiento T3 con su respectiva repetición



En la figura 17 se muestra el desarrollo de las raíces verticales y su regular distribución lateral en todas las repeticiones del T4.

Figura 17

Tratamiento T4 con su respectiva repetición.



3.3. Métodos o técnicas

a. Evaluación del efecto de la incorporación de las enmiendas en la variación del pH y la conductividad eléctrica

Los resultados de pH y la conductividad eléctrica de los sustratos fueron proporcionados por el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. La evaluación se basó en el análisis de la variación del pH y la conductividad eléctrica después de la incorporación de las enmiendas.

b. Evaluación del efecto de las enmiendas en la variación del crecimiento de la especie *Agave americana L.*

Previo y posterior a la fase experimental se tomaron registros fotográficos y se realizaron la medición de la longitud de las hojas de manera semanal con una regla milimétrica. La evaluación se basó en el análisis de la variación de la longitud de las hojas en los distintos tratamientos.

c. Evaluación del efecto de las enmiendas sobre la concentración de Cd y Pb en la parte radicular y foliar de la especie *Agave americana L.*

Al finalizar la etapa experimental se realizó la caracterización de la parte radicular y foliar del Maguey en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Con los resultados proporcionados por el laboratorio se halló la variación de la concentración de los metales, comparando los valores iniciales con los finales.

d. Determinar el factor de traslocación y bioconcentración de la especie *Agave americana L.*

Se calcularon los factores de traslocación (FT) y bioconcentración (FBC) de la especie *Agave americana L.* para Cd y Pb, y así validar su eficiencia en el proceso de fitorremediación gracias a su habilidad para translocar los metales desde las raíces hacia el tejido aéreo

- **Factor de traslocación**

Es la relación entre la concentración de metal en la raíz y la concentración del metal en las hojas. $FT > 1$ significa que la planta trasloca el metal de su raíz hacia sus hojas (Argota Pérez et al., 2014)

$$FT = C_H \text{ mg/kg} / C_R \text{ mg/kg}$$

Donde:

C_H = Concentración hojas

C_R = Concentración raíz

FT = Factor de traslación

- **Factor de Bioconcentración**

El factor de bioconcentración es la relación de la concentración del metal en la planta con respecto al suelo. $FBC > 1$ implica que es factible utilizar la especie en fitoextracción (Ramírez Gottfried et al., 2019).

$$FBC = C_T \text{ mg/kg} / C_s \text{ mg/kg}$$

Donde:

C_T = Concentración planta

C_s = Concentración suelo

FBC = Factor de bioconcentración

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Especies de *Agave americana L.* que crecen cerca a relaves mineros.

3.4.2. Muestra

El sistema de muestreo es aleatorio simple.

25 unidades de especies de *Agave americana L.*

3.5. Instrumentos validados de recolección de datos

Tabla 5

Las técnicas e instrumentos de recolección de información

Técnicas	Instrumentos
Revisión bibliográfica	Repositorios de las universidades, contacto y consulta a especialistas.
Observación directa	Hoja de registro para las medias biométricas de la parte foliar.
Análisis de laboratorio	Espectrofotómetro
Pruebas estadísticas	software SPSS para el análisis de varianza ANOVA y el Método de Tukey.

3.5.1. Materiales

a. Maguey (*Agave americana L.*)

Tabla 6 contenido de metales y nutrientes en el *Agave americana L.*

Tabla 6

Contenido de metales en el análisis foliar inicial.

Parámetro	Unidad	Hoja
Nitrógeno Total	% ms	8.16
Fosforo	% P	4.2
Potasio	% K	14.6
Cadmio total	mg/kg	105.92
Calcio total	mg/kg	4140.6
Magnesio total	mg/kg	4477.6
Plomo total	mg/kg	< 120.366

FUENTE: Laboratorio de calidad ambiental UNASAM

b. Relave minero

Tabla 7 contenido de metales en el relave que se usó como sustrato para los distintos tratamientos.

Tabla 7*Contenido de metales en el relave.*

Parámetro	Unidad	Muestra de medida
Análisis fisicoquímicos		
Conductividad	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	941
pH (en laboratorio)	Unid. pH	6.83
Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100gr	18.1
Metales totales		
Aluminio total	mg/kg	288.9
Cadmio total	mg/kg	39.960
Calcio total	mg/kg	3033.2
Cobre total	mg/kg	192.6
Cromo total	mg/kg	144.439
Plomo total	mg/kg	999.600
Zinc total	mg/kg	433.31

c. Cal

El porcentaje de pureza del Calcio fue 57.77 % y fue analizada en el laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM

d. Humus

Tabla 8 composición del humus que se usó en los distintos tratamientos.

Tabla 8*Composición del humus*

Características	
pH	8.4
Ácidos húmicos	9%
MO	42%
Humedad	40%
C/N	10%

Contenido Nutricional	
N	2.35%
P	1.56%
K	2.40%
Ca	9.71%
Mg	1.43%
S	0.84%
Na	0.46%
Fe	78‰
Zn	0.42%
Cu	0.10%

e. Bioestimulante

Para acelerar el proceso de desarrollo del *Agave americana L.* se usó ALGAPAK que es un Bioestimulante que contiene aminoácidos, Algas marinas, promotores biológicos de giberelinas, citoquininas y auxinas NPK.

Tabla 9

Composición del bioestimulante Algapak

Composición química	
Extracto de algas marinas	15.50%
Auxinas	11
Citoquininas	50
Nitrógeno total	5.64%
Fosforo P2O5	2.87%
Potasio soluble (K2O)	3.89%
Microelementos quelatados con ácidos orgánicos	2.20%
Fitohormonas (citoquininas, auxinas, giberelinas)	0.01%

f. Agua de riego

El agua que se usó para el riego fue agua potable de la ciudad de Huaraz, a continuación, se muestra los resultados del laboratorio.

Tabla 10

Contenido de metales en el agua de riego

Parámetro	Unidad de medida	Agua
Análisis fisicoquímicos		
Conductividad	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	107.4
pH	Unid. pH	6.98
Metales totales		
Cadmio total	mg/l	0.006
Plomo total	mg/l	0.070

g. Otros materiales

- 15 macetas de plástico de 3.4 kg de capacidad
- Navaja
- Cuaderno de notas
- Bolsa ziploc
- Plumones
- post it
- Regla milimétrica
- Lampa

3.5.2. Equipos

- Laptop
- Cámara fotográfica

3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.

Los datos se someterán a los supuestos de normalidad y de homogeneidad de las varianzas, para luego continuar con un análisis de varianza ANOVA para establecer si hay diferencias significativas de cada tratamiento. Para resultados significativamente diferentes se aplicará la prueba de Comparación Múltiple mediante el Método de Tukey para un nivel de significancia de $p=0.05$, para especificar entre cuales de los tratamientos se presentarán las diferencias. Se utilizará el software SPSS.

Programas utilizados para el análisis

Excel: cálculos matemáticos y gráficos de barras

IBM SPSS Statistics versión 25: varianza ANOVA y Método de Tukey.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Evaluación del efecto de la incorporación de las enmiendas en la variación del pH y la conductividad eléctrica.

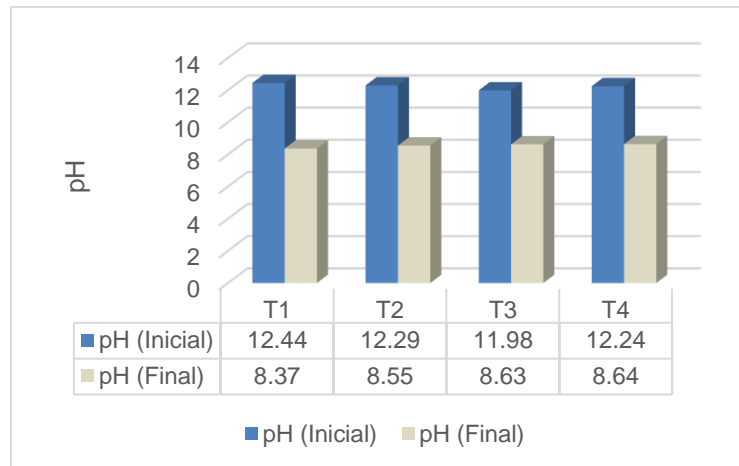
La evaluación se basó en el análisis de la variación del pH y la conductividad eléctrica iniciales y finales después de la incorporación de las enmiendas.

a) Variación del pH en el sustrato

La figura 18 muestra la variación del pH de los sustratos de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 después de 120 días. Se observa que hubo una disminución del pH en todos los sustratos, los valores más bajos de pH fueron en los sustratos de los tratamientos T1=8.37 y T2=8.55, esto se debió a que en el tratamiento T1 la concentración de humus fue del 10% y en el T2=25% que son la concentración más baja a diferencia de los otros tratamientos donde la concentración de humus fue de 35 % y 50 %. El humus al presentar un pH 8.4 influyo en el proceso de oxidación de la pirita, es así que los tratamientos con mayor % de humus tuvieron una menor disminución del pH.

Figura 18

Variación del pH en los tratamientos.



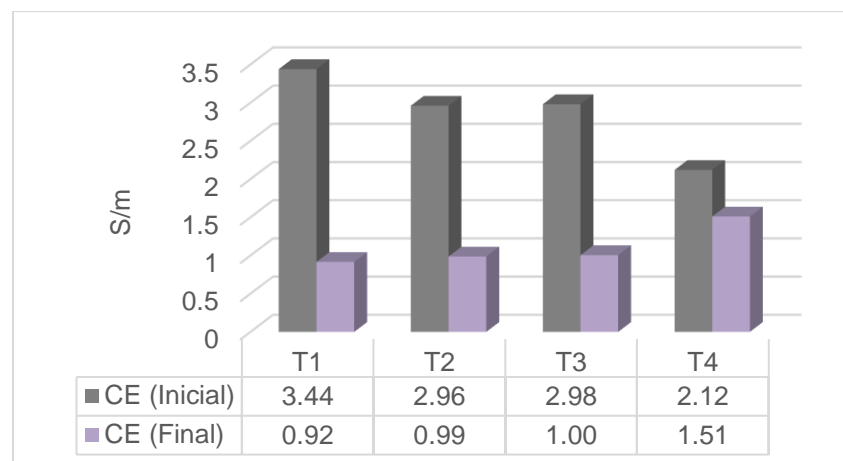
b) Variación de la conductividad eléctrica en el suelo

La conductividad eléctrica (CE) disminuyó en todos los sustratos de los tratamientos, lo cual le confirió la condición de un medio no salino a los tratamientos T1=0.92 y T2=0.99, y levemente salinos a los tratamientos T3=1 y T4=1.51, según lo mencionado por Cremona & Enríquez (2020).

La conductividad eléctrica iniciales en el sustrato de los tratamientos T1=3.44, T2=2.96 y T3=2.98 se redujo a T1=0.92, T2=0.99 y T3=1 pasaron de suelo moderadamente salino a baja salinidad, creando una condición óptima para la retención del agua y el desarrollo de las raíces de las plantas.

Figura 19

Variación de la conductividad eléctrica (CE) en los tratamientos



4.2. Evaluación del efecto de las enmiendas en la variación del crecimiento de la especie *Agave americana* L.

En la tabla 11 se muestra la longitud de crecimiento de las hojas por semana en cada uno de los tratamientos, el ensayo duro 120 días.

Tabla 11

Crecimiento de las hojas por semana

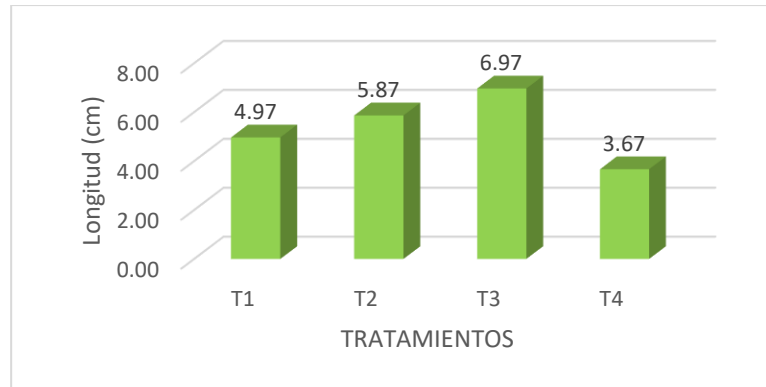
Semana	Tratamiento				
	T1	T2	T3	T4	T5
S1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S3	0.6	0.6	0.5	0.3	0.0
S4	1.0	1.1	0.6	0.2	0.0
S5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S6	0.4	0.7	0.7	0.5	0.0
S7	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0
S8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S9	0.3	0.2	0.4	0.2	0.0
S10	0.3	0.4	0.4	0.2	0.0
S11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S12	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0
S13	0.4	0.5	0.9	0.5	0.0
S14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S15	0.5	0.6	1.4	0.5	0.0
S16	0.8	1.3	1.5	0.8	0.0
Total	5.0	5.9	7.0	3.7	0.0

Nota. S = Semana

En la figura 20 se muestra la longitud de crecimiento de las hojas de cada tratamiento, teniendo como resultado que en el tratamiento T3 y sus repeticiones la longitud de crecimiento promedio de las hojas fue de 6.97 cm, seguido por el T2 con una longitud de 5.87 cm. El tratamiento con menor longitud de hojas fue el T4 igual 3.67 cm a pesar que la concentración de humus fue mayor en el T4, es probable que el Cd y Pb presentes en el sustrato se estabilizaron con la materia orgánica formando complejos y a la vez acumulando el Pb y Cd en las raíces limitando su crecimiento.

Figura 20

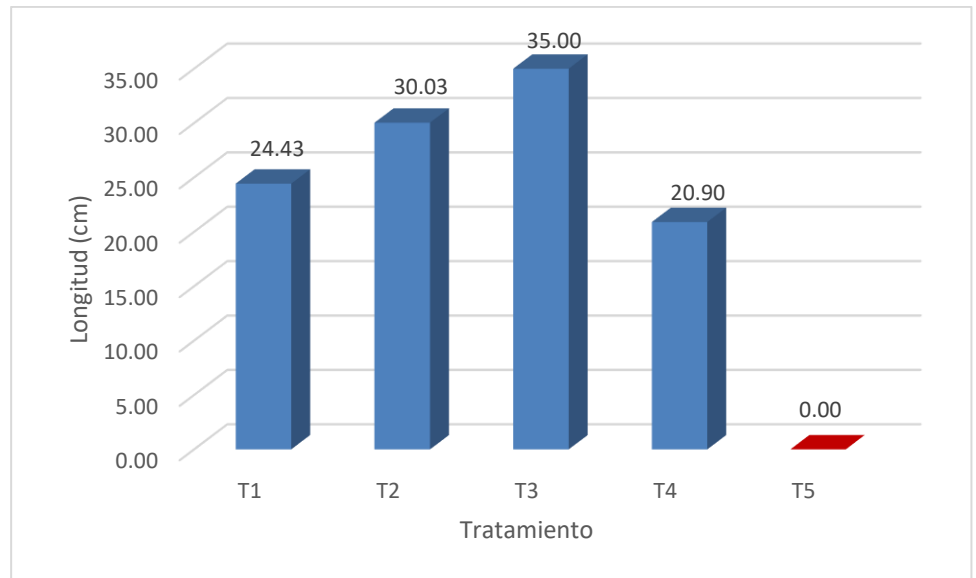
Longitud de las hojas del Agave americana L.



En la figura 21 podemos observar que el tratamiento T3 presentó el mayor promedio de desarrollo vertical de las raíces con 6.97 cm de profundidad y a la vez con un amplio rango de distribución lateral de sus raíces, a la vez se evidenció el desarrollo hijuelos. El tratamiento T4 presenta el menor promedio de desarrollo vertical de raíces con 3.67 y poca distribución lateral de raíces; en el tratamiento T5 el *Agave americana L.* sufrió fitotoxicidad y no desarrollo raíces. Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 se adaptaron muy bien durante los 120 días del ensayo a consecuencia del bioestimulante que se usó y la estabilización del relave con uso de humus y cal.

Figura 21

Longitud de la raíz



4.3. Evaluación del efecto de las enmiendas en la concentración de Cd y Pb en la parte foliar y radicular de la especie *Agave americana* L.

Para evaluar cuanto cadmio y plomo fue transportado del sustrato a la planta, se evaluó la concentración de metales en la parte foliar y radicular antes y después del experimento.

Foliar

Los resultados del análisis foliar del Agave realizado por el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúñez de Mayolo nos indica que existe un incremento de Pb y Cd en las hojas después de 120 días como se muestra en la tabla 12 y 13.

Tabla 12

Resultado inicial del análisis foliar

Clave de campo	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
Agave inicial	105.92	120.366

Tabla 13

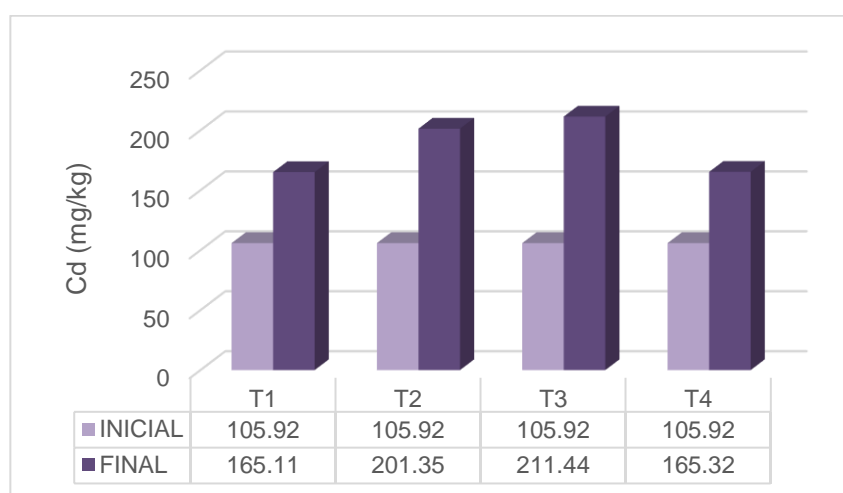
Resultado final del análisis foliar

Clave de campo	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
T1	165.11	332.22
T2	201.35	508.90
T3	211.44	295.16
T4	165.32	240.18

En la figura 22 la concentración de cadmio movilizado se incrementó en todos los tratamientos. La acumulación fue mayor en el tratamiento T3 con 211.44 mg/kg seguido por el T2 con 201.35 mg/kg. El tratamiento que acumulo menor concentración de cadmio en las hojas fue el T4 con 165.32 mg/kg. Es probable que el cadmio presente en el T4 se encuentre precipitado a causa del pH=8.84 y el 50% de materia orgánica que tiene el tratamiento.

Figura 22

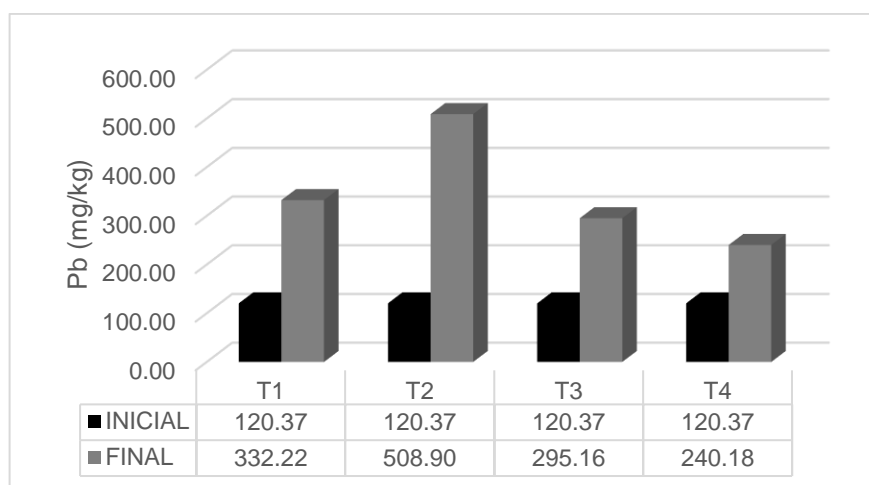
Concentración de cadmio en la parte foliar.



En la figura 23 la concentración de plomo en las hojas de todos los tratamientos se incrementó, siendo mayor en el tratamiento T2 con 508.90 mg/kg seguido del tratamiento T1 con 332.22 mg/kg. En general la aplicación de enmiendas favoreció la fitoextracción del plomo.

Figura 23

Concentración de Plomo en la parte foliar.



Raíz

En la tabla 14 se muestra la concentración de Cadmio y plomo en la parte radicular al finalizar el ensayo. Se observa que en el tratamiento T2 la concentración de cadmio y plomo fue mayor en comparación con los otros tratamientos, es importante recordar que se cortaron las raíces antes de ser plantadas y están se desarrollaron nuevamente en los 120 días.

Tabla 14

Concentración de cadmio y plomo en la raíz del Agave americana L. al término del ensayo.

Clave de campo	Cadmio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
T1	37.20	134.48
T2	50.03	293.47
T3	31.69	169.25
T4	35.87	135.45

En la tabla 15 el análisis ANOVA indica que la prueba es significativa, es decir que hay diferencia significativa entre las mezclas de cada tratamiento con una probabilidad de 5%.

En la tabla 16 la prueba de Tukey indica que la mezcla es significativa, presentando una superioridad del T2 sobre el T3, T1 Y T4 con una probabilidad de 5%.

Tabla 15

Análisis ANOVA de la concentración total de Pb en la parte radicular

Origen de las variaciones	ANOVA				
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	51024.421	3	17008.140	7.357	0.011
Dentro de grupos	18493.708	8	2311.714		
Total	69518.129	11			

Tabla 16

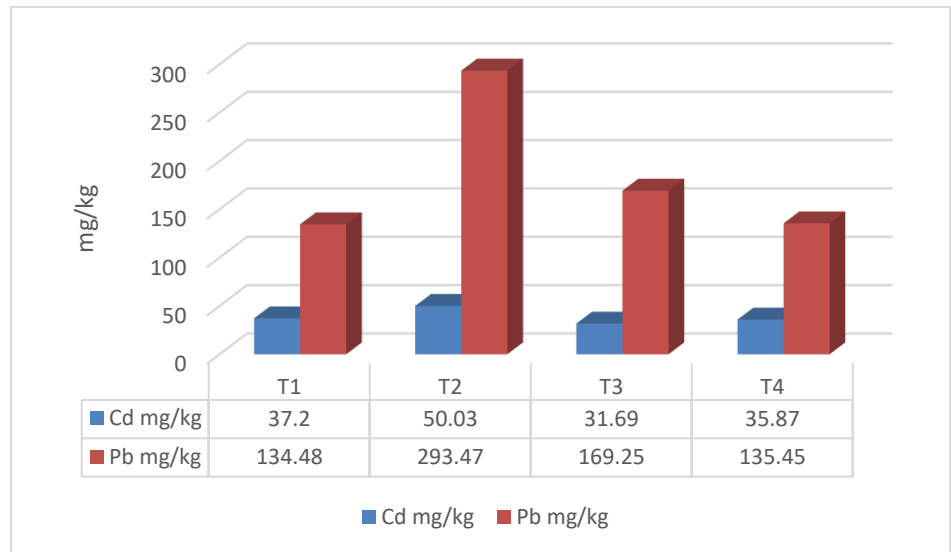
Prueba de Tukey para la concentración de Pb en la parte radicular.

Tratamiento	N	Tukey B ^a	
		Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	3	134.4753	
T4	3	135.4517	
T3	3	169.2473	
T2	3		293.4700

En la figura 24 la concentración de plomo y cadmio en la parte radicular al finalizar el ensayo nos indica que el *Agave americana L.* es una especie que acumula estos metales y lo reincorporan en su estructura a través de distintos mecanismos sin generar fitotoxicidad.

Figura 24

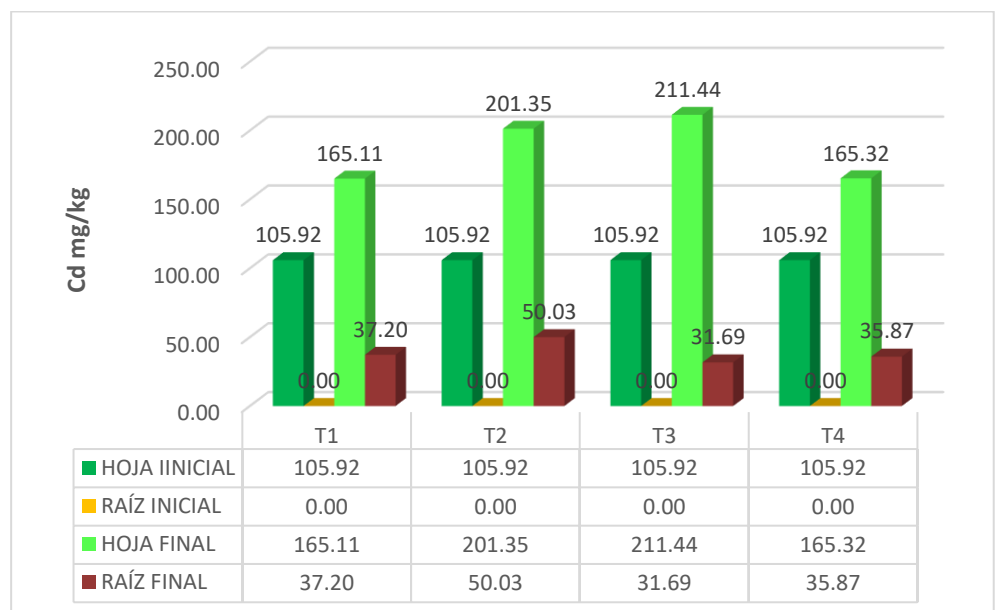
Concentración de cadmio y plomo en raíz



En la figura 25 la concentración de cadmio se incrementó tanto en las hojas como en la raíz durante los 120 días de plantación, se observó además que el cadmio preferentemente se acumula en las hojas como es el caso del tratamiento T2 con 201.35 mg/kg y en el tratamiento T3 con 211.44 mg/kg, como consecuencia de la translocación de Cd hacia las hojas.

Figura 25

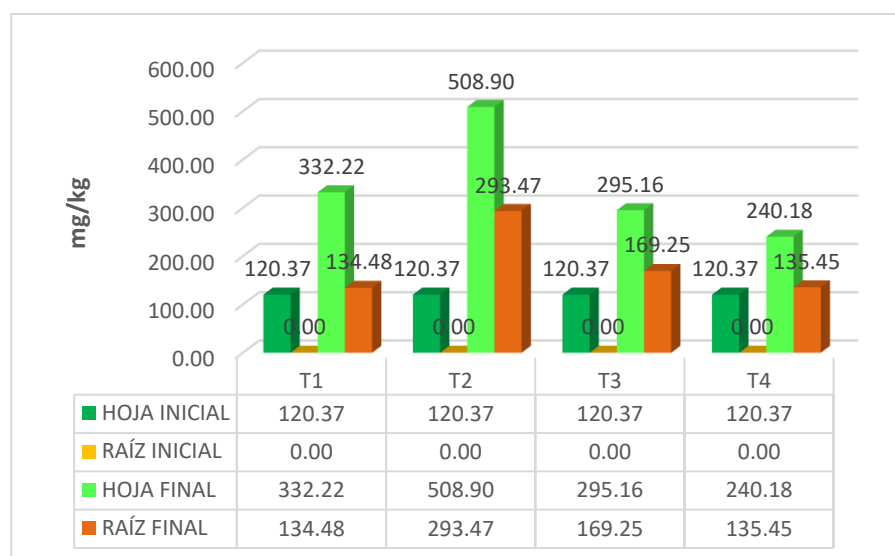
Concentración de cadmio en hoja y raíz



En la figura 26 la concentración de Pb en las hojas y raíces se incrementó luego de 120 días de plantación, se observó además que el plomo preferentemente se acumula en las hojas del Maguey en el tratamiento T1 con 211.85 mg/kg y T2 con 388.53 mg/kg como consecuencia de la translocación de Pb hacia las hojas. En el tratamiento T4 la concentración de cadmio y plomo fue menor indicando que es recomendable el sustrato si el objetivo es fitoestabilizar relaves mineros.

Figura 26

Concentración de plomo en hojas y raíz.



4.4. Factor de traslocación y bioconcentración.

En la Tabla 17 se muestra la concentración inicial de metales en el relave (sin enmiendas) y en la tabla 18, la concentración final de cadmio y plomo en los sustratos (relave + enmiendas) después de los 120 días que duro el ensayo. Se evidencio que la concentración de plomo total disminuyo en los sustratos y se incrementó en el *Agave americana L.* a diferencia del cadmio que se incrementó en el sustrato.

Tabla 17*Resultados de la concentración inicial relave.*

Parámetro	Unidad de medida	Muestra
Metales totales		
Aluminio total	mg/kg	288.9
Cadmio total	mg/kg	39.960
Calcio total	mg/kg	3033.2
Cobre total	mg/kg	192.6
Cromo total	mg/kg	144.439
Plomo total	mg/kg	999.600
Zinc total	mg/kg	433.31

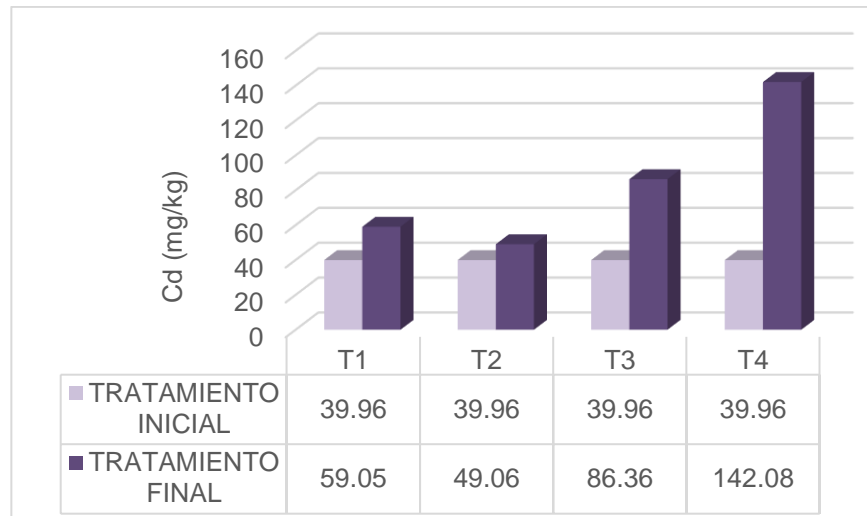
Tabla 18*Resultado de la concentración final de cadmio y plomo en los sustratos.*

Nombre	Cadmio (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)
T1	59.05	163.82
T2	49.06	180.48
T3	86.36	241.57
T4	142.08	197.14

En la figura 27 el cadmio se incrementó en todos los sustratos. La mayor concentración de cadmio se dio en el tratamiento T4 con 102.12 mg/kg y es probable que este incremento se como consecuencia de la meteorización química en las estructuras minerales del relave y la formación de sulfuros de cadmio bajo condiciones de reducción además es probable que se formaran complejos órgano-minerales del cadmio con el humus.

Figura 27

Concentración inicial y final del Cd en los sustratos.



En la figura 28 se observa que hubo una disminución significativa de Pb en cada uno de los sustratos de los tratamientos, obteniendo el primer lugar el tratamiento T1 con 835.78 mg/kg y en segundo lugar el T2 con 819.12 mg/kg.

Figura 28

Concentración inicial y final del Pb en los sustratos

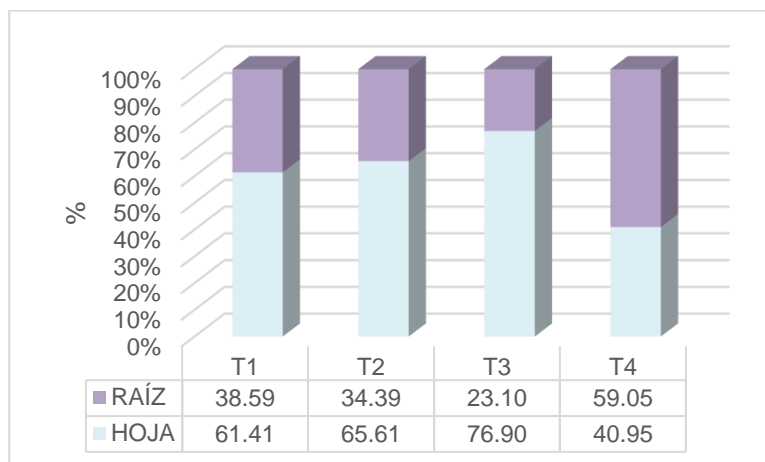


En la figura 29 el porcentaje de cadmio movilizado hacia las hojas fue mayor con respecto a la raíz, en el tratamiento T3 = 76.90%, T2=65.61%,

T1=61.41% y T4=40.95%. El tratamiento T4 acumuló más cadmio en la raíz con 59.05%.

Figura 29

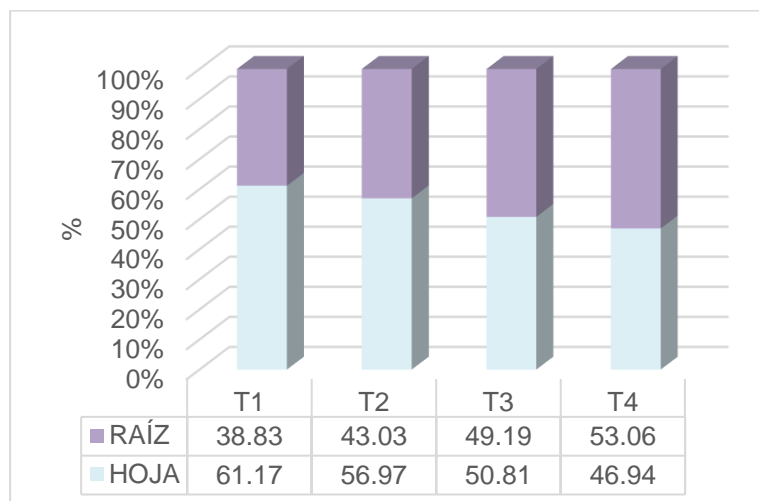
Porcentaje de cadmio movilizado.



En la figura 30 la distribución del porcentaje de plomo movilizado hacia la parte radicular y foliar del *Agave americana L.* muestra que luego de la aplicación de enmiendas en los tratamientos T1, T2, T3, y T4, favoreció la acumulación de Pb en las hojas del Maguey, produciéndose la fitoextracción en las hojas para el tratamiento T1 y T2 con 61.17% y 56.97%. En general se obtuvo que el Pb se movilizó en mayor porcentaje hacia las hojas en aquellos tratamientos (T1 y T2) que incluían menor porcentaje de humus.

Figura 30

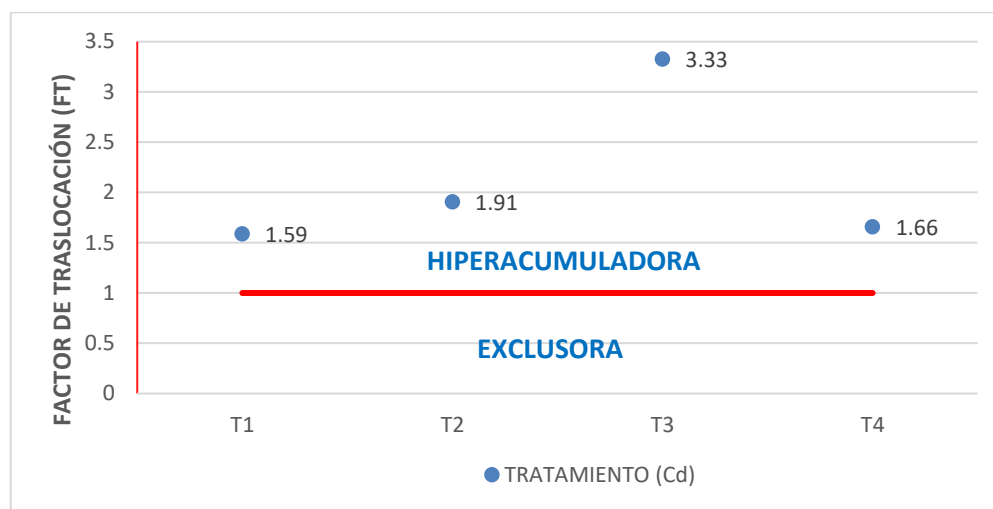
Porcentaje de plomo movilizado.



En la figura 31 los valores del factor de traslocación Cd en todos los tratamientos es >1 , lo que significa que el Maguey ha trasladado eficientemente el Cd de la raíz a la parte aérea. El valor del factor de traslocación más alto se obtuvo en el tratamiento T3 con 3.33. En general, el *Agave americana L.* es una planta hiperacumuladora de Cadmio.

Figura 31

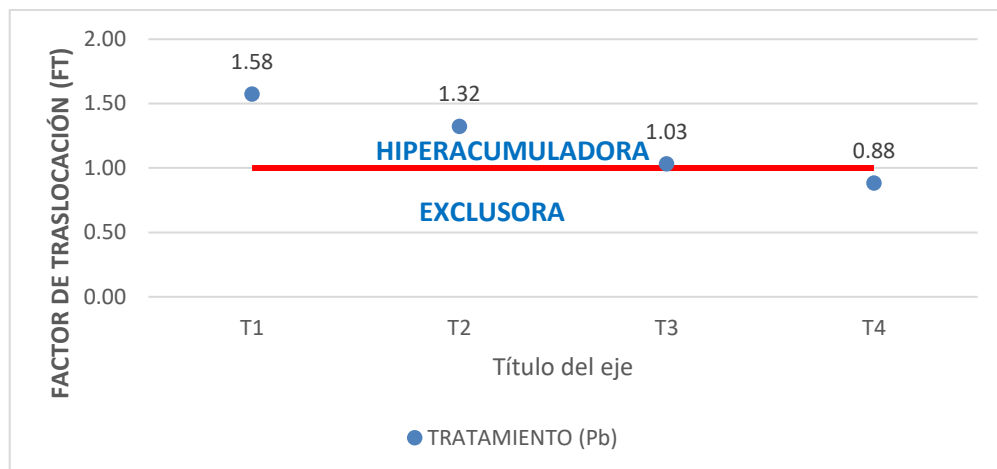
Factor de traslocación para el cadmio.



En la figura 32 el factor de traslocación del Pb es superior a uno en los tratamientos T1, T2 y T3 y está relacionado con el porcentaje de humus (10%, 25% y 35%). El factor de traslocación fue menor a uno en el tratamiento T4 (50%) lo que indica que el porcentaje de humus influye en la biodisponibilidad del plomo para trasladar de la raíz a la parte aérea de la planta. En general la especie es hiperacumuladora.

Figura 32

Factor de traslocación para el plomo.



En la figura 33 los valores del factor de bioconcentración para el cadmio en general fueron >1 , lo cual indica la alta acumulación de Cd en comparación al contenido presente en el suelo, por lo tanto, decimos que el Maguey es una planta hiperacumuladora.

Figura 33

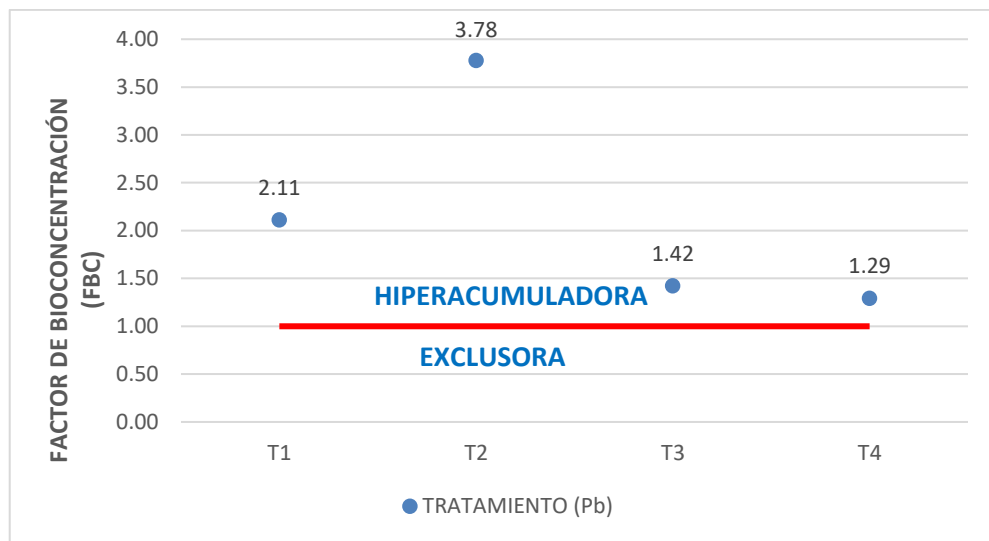
Factor de bioconcentración para el cadmio.



En la figura 34 los valores del factor de bioconcentración para el plomo fueron >1 , lo cual indica la alta acumulación de Pb en comparación al contenido presente en el suelo, por lo tanto, decimos que el agave es una planta hiperacumuladora.

Figura 34

Factor de bioconcentración para el plomo.



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la investigación se determinó que la incorporación de enmiendas como el humus, cal y bioestimulante en relaves mineros, mejora las condiciones para el desarrollo de la especie *Agave americana L.* reduciendo la conductividad eléctrica, favoreciendo el crecimiento de la raíz y las hojas; adaptándose a altas concentraciones de metales tóxicos como el Cd y Pb. El *Agave americana L.* es una especie hiperacumuladora de cadmio y plomo.

La disminución del pH se dio posiblemente por los procesos de oxidación de la pirita (FeS_2) presente en el relave, en donde las condiciones químicas como la exposición al agua de riesgo, oxígeno y compuestos orgánicos como el humus dieron lugar a una reacción química, incrementando los iones de hidrogeno en el suelo, lo cual concuerda con el estudio realizado por Callirgos Rodríguez, (2016).

El pH de los sustratos es alcalino y se encuentran en un rango de 8-8.6 y la concentración de humus en los tratamientos (T1= 10%, T2=25%, T3=35%, T4=50 y T5=0%) influyó en el proceso de oxidación de la pirita, es así que los tratamientos con mayor % de humus tuvieron una menor disminución del pH.

FAO, (1994) afirma que el género *Agave* presenta tolerancia de ligera a intermedia a sales y se desarrolla mejor en un rango de pH de 6.0 a 8.0; y no

recomienda suelos ácidos ni alcalinos. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos, ya que el *Agave americano L.* se desarrolló mejor en los tratamientos T1, T2 y T3; y con respecto al tratamiento T5 donde el sustrato era el relave el agave no prosperó debido a la acides.

En todos los tratamientos hubo una reducción de la conductividad eléctrica, pasaron de suelo moderadamente salino a baja salinidad creando una condición óptima para la retención del agua y el desarrollo de las raíces de las plantas. Un suelo con alta conductividad eléctrica presenta altas concentraciones de sales disueltas que retienen a las moléculas de agua con una fuerza que compite con la que tienen que hacer las plantas para tomarla desde el suelo. De esta manera, la salinidad reduce la disponibilidad de agua para las plantas, mediante el efecto desecante que provoca en el suelo. Por lo tanto, una elevada conductividad eléctrica limitará el crecimiento y desarrollo de las plantas. La tolerancia está en función a la especie vegetal concordando con Conesa et al. (2007).

El *Agave americana L.* es una especie xerófito que acumula abundante biomasa aérea y subterránea, por tratarse de una especie perenne presenta un vigor envidiable y una alta capacidad para adaptarse en suelos pobres en nutrientes y condiciones climáticas adversas como las sequías y heladas, por estas características es óptima para fitorremediar relaves mineros. En el experimento la longitud promedio de las hojas fue directamente proporcional a la concentración de humus, teniendo como resultado que los tratamientos con mayor longitud de hojas fueron $T3 > T2 > T1$

Según Loch Arellano, (2017) la adición de Humus aumenta las concentraciones de NPK respecto a las del relave, alcanzando niveles óptimos para el crecimiento vegetal, concordando con el ensayo.

En el ensayo, la longitud de las raíces fue directamente proporcional a la concentración de humus a excepción del tratamiento T4 que a pesar de tener mayor concentración de humus desarrolló menor promedio vertical y menor distribución lateral de raíces y no se evidencio el desarrollo de hijuelos, probablemente esto se debió al incremento de Cd en el sustrato.

Franco-Salazar & Véliz, (2008) indican que, a medida que aumenta la salinidad en el sustrato, las raíces generadas son menos abundantes, poco ramificadas, oscuras, y con ápices necrosados e inclusive presentan deformaciones y abultamientos, situación que se observó en el tratamiento T5 donde se evidenció poco desarrollo y la muerte.

Diversos estudios indican que la respuesta de las plantas, en relación a la absorción de metales del sustrato, es variable y dependerá de cada especie (Rodríguez-Elisalde, 2010)

Un proyecto de secuenciación masiva de ADN complementario donde se analizó el contenido de transcriptoma de *Agave tequilana*, determinó que plantas de *Agave tequilana* contienen altos niveles de transcritos codificantes de metalotioneínas; los cuáles se expresan constitutivamente en todos los tejidos de esta especie. Las metalotioneínas son proteínas de bajo peso molecular ricas en cisteínas presentes en todos de los organismos, capaces de formar complejos metal-tiolato con cationes de metales de transición como Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{1+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} y Co^{2+} (Cen-Cen et al., 2015). Además, Méndez-Hurtado y Cols, (2013) indican que la presencia de transcritos de metalotioneínas constitutivamente expresados en el *Agave tequilana* sugiere que esta especie podría tener la capacidad de tolerar altas concentraciones de cationes metálicos divalentes y tener, por lo tanto, capacidades distintas a otras plantas en cuanto a su homeostasis nutricional, o bien tener potencial como agente biorremediador. Con estas investigaciones previas se afirma que la especie *Agave americana L.* al pertenecer a esta familia también tiene la capacidad de tolerar altas concentraciones de Pb y Cd y concuerda con los resultados obtenidos.

Durante el ensayo se observó que la muestra T4 con 50% de humus desarrolló menor longitud de raíces, menor crecimiento de hojas, menor concentración de metales de Cd y Pb y el incremento de la concentración de Cd en el sustrato. Es probable que la baja concentración de cadmio en la parte radicular y foliar del agave en el tratamiento T4 se viera favorecida por la oxidación de la pirita y la formación de moléculas complejas de elevada estabilidad al unirse con la materia orgánica presente disminuyendo la capacidad de fitoextracción, reduciendo así la fitotoxicidad (Robinson et al., 1997). Además Shaheen et al.,

(2015) afirma que la adición de enmiendas orgánicas a los suelos reduce la absorción de Cd por las plantas (formación de complejos estables), mejora el suelo físicamente, además proporciona nutrientes esenciales de fácil asimilación para las plantas y la capacidad de remediar sitios contaminados.

El factor de traslocación para el Cd fue >1 por lo cual se le confiere como una especie hiperacumuladora de Cd. Diversos estudios afirman que este comportamiento responde a la necesidad de ciertas especies para limitar el herbivorismo y la patogénesis (Poschenrieder et al, 2006)

Cen-Cen et al., (2015) en la investigación "Tolerancia de *Agave tequilana* a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes" determinó que la cantidad de Cd acumulada en hojas de *A. tequilana* a partir de la cual se observa síntomas tóxicos (350 ppm), excede de 35 a 70 veces lo reportado como tóxico en la mayoría de las especies (5-10 ppm), y supera el límite considerado para denominar a una especie como hiperacumuladora. Esta afirmación se demostró ya que el *Agave americana* L. presenta un factor de traslocación (FT) y factor de bioconcentración (FBC) para Cd y Pb >1 .

Con los resultados obtenidos en esta investigación se afirma la hipótesis que el uso de la especie *Agave americana* L. y la adición de enmiendas (humus, cal y bioestimulante) en relaves mineros incrementaría la acumulación de metales en la parte radicular y foliar.

Los hallazgos encontrados en esta investigación darían inicio a investigaciones relacionadas a esta especie vegetal que tiene un gran potencial de fitorremediar relaves mineros por su alta capacidad de tolerar concentraciones elevadas de metales.

Las limitaciones que se encontraron para el desarrollo de la investigación fue obtener humus certificado en la ciudad de Huaraz, sumado el contexto del COVID donde se declaró un estado de emergencia que prohibió toda actividad incluyendo el servicio del laboratorio de calidad ambiental.

La relación planta-suelo ha sido escasamente estudiada para el género por lo que se desconoce, entre otras cuestiones, cuál es la capacidad de los agaves

para absorber, transportar y almacenar nutrientes minerales, cuáles son los mecanismos celulares y bioquímicos que utilizan, o si poseen especial sensibilidad o tolerancia a los iones metálicos.

No existen investigaciones previas que indican que las plantas cultivadas de *Agave americana L.* acumulen cantidades altas de metales en sus tejidos. Considerando la notable producción de biomasa de los agaves y la existencia de especies que crecen en zonas mineras; experimentos de larga duración, en suelo son requeridos para explorar el potencial de esta especie como agente biorremediador.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- La conductividad eléctrica y el pH son factores determinantes para que prospere y se desarrolle el *Agave americana L.* En el sustrato de todos los tratamientos los valores de pH y la conductividad eléctrica disminuyeron ligeramente, lo cual favoreció la disponibilidad de cationes metálicos en la solución suelo, incrementando el desplazamiento del Cadmio total en T2, T3 y el plomo en T2, debido a las reacciones químicas generadas que formaron precipitados y complejos.
- La adición de enmiendas como cal, humus y bioestimulante favoreció la adaptación del Agave y la estabilización del relave. El tratamiento más eficiente para el proceso de fitorremediación fue el tratamiento T3, que contenía humus al 35% ya que logró concentrar mejor el Cadmio en las hojas, logrando mayor crecimiento foliar, mayor longitud de raíz y el desarrollo de hijuelos, que evidencia la excelente adaptación del Agave.
- El *Agave americana L.* logró concentrar mejor el Cadmio en las hojas en el tratamiento T3 = 76.90 %. Con respecto al plomo, logró concentrar mejor en la parte radicular y foliar en el tratamiento T2 que contenía humus al 25 %.
- Según el estudio hay base estadística para inferir que el T2 es superior con respecto a concentrar mejor el Pb en la raíz, sobre los tratamientos T3, T1 Y T4 con una probabilidad de 5%.
- El Factor de Traslocación y Bioconcentración para el Cadmio es superior a 1 por lo tanto, el *Agave americana L.* es una especie hiperacumuladora y se recomienda para estudios de Fitoextracción de Cd.

- El Factor de Traslocación y Bioconcentración para para Plomo es mayor a 1 por lo tanto es una especie hiperacumuladora y se recomienda para estudios de fitoextracción de Pb.

RECOMENDACIÓN

- Realizar ensayos in situ con mayor tiempo para evaluar la respuesta del *Agave americana L.* y generar resultados más certeros en cuanto a su desarrollo, capacidad productiva y tolerancia a otros metales pesados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), 55-60.
- Aguilar, L., Santos-Díaz, M., Gómez-Aguirre, Y., Gómez, M., & Balch, E. (2020). Análisis in vitro de la acumulación de metales pesados en plantas de la familia Asparagaceae tolerantes a la baja disponibilidad de agua. *Nova Scientia*, 12. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2081>
- Alderete-Suárez, B. M., Valles-Aragón, M. C., Canales-Reyes, S., Peralta-Pérez, M. del R., & Orrantia-Borunda, E. (2019). BIOCONCENTRACIÓN DE Pb, Cd Y As EN BIOMASA DE *Eleocharis macrostachya* (CYPERACEAE). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 93-101. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.11>
- Argota Pérez, G., Encinas Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone, J. (2014). Coeficientes biológicos de Fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus Magellanicus Bracteatus* y *Muhlenbergia Angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The Biologist*, 12(1), 99-108.
- Cabrera, F., Girón Moreno, I. F., & Moreno Lucas, F. (2007). *Evolución de la contaminación con elementos traza en los suelos afectados por el vertido de Aznalcóllar*. Universidad de Sevilla. <https://digital.csic.es/handle/10261/37610>
- Calligos Rodríguez, C. M. (2016). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1549855>

- Castillo Quiroz, D., Villareal Quintanilla, J., & Cano Pinera, A. (2020). *EI GÉNERO Agave L. BAJO CULTIVO: TAXONOMÍA, DISTRIBUCIÓN Y USOS* | *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 32(101).
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/826>
- Cen-Cen, E. R., Gómez-Merino, F., & Martínez-Hernández, A. (2015). Tolerancia de *Agave tequilana* a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes. *Polibotánica*, 40, 163-182.
- Conesa HM, García G, Arnaldos R (2007) Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes. *Chemosphere* 68: 1180-1185
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. En *Presencia XXXI (73): 5-8 (Agosto 2020)* [Info:ar-repo/semantics/artículo]. EEA Bariloche. <http://repositorio.inta.gob.ar:80/handle/20.500.12123/7709>
- Cuadros Mejía, C. H. (2018). Técnicas de fitorremediación de relaves. *Universidad Nacional de Ingeniería*. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1104515>
- Cummins, R. (2021, febrero 5). El Poder del Agave: Reverdeciendo el Desierto. *Vía Orgánica*. <https://viaorganica.org/el-poder-del-agave-reverdeciendo-el-desierto/>
- Damian Suclupe, M. J., Gonzáles Veintimilla, F., Quiñones Paredes, P., & Terán Iparraguirre, J. R. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141-158. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>

- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Domínguez, M. T. (2010). *Elementos traza en el sistema planta-suelo: Implicaciones para la ecología de especies leñosas mediterráneas y la restauración de zonas contaminadas*. <https://doi.org/10.13039/501100003339>
- FAO. 1994. ECOCROP 1. *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Versión 1.0. AGLS. FAO. Rome, Italy.
- García, C., Moreno, J. L., Hernández Fernández, M. T., & Polo, A. (2002). *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. CSIC - Centro de Ciencias Medioambientales (CCMA).
<https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- García, S. D. 2017. *Bioestimulantes Agrícolas, Definición, Principales Categorías y Regulación a Nivel Mundial*. Serie Nutrición Vegetal Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Ginocchio C, R., & Leon L, P. (2011). *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/40581>
- Ginocchio, R., & Leon, P. (2011). *Fitoestabilización de Depósitos de Relaves en Chile*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Pilar Baptista Lucio, M. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. McGraw-Hill.
- Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y., Cartaya-Rubio, O., Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-

- Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y., & Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Hidalgo Camarena, P., Espinoza Tumialan, P., & Figueroa Tauquino, R. (2010). Ensayo de adaptación de especies vegetales para la cobertura vegetal de los relaves mineros de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas. *APORTE SANTIAGUINO*, 3(1), 18. <https://doi.org/10.32911/as.2010.v3.n1.416>
- Houben, D., Pircar, J., & Sonnet, P. (2012). Heavy metal immobilization by cost-effective amendments in a contaminated soil: Effects on metal leaching and phytoavailability. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 87-94.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.10.004>
- Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., Pampa-Quispe, N. B., Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., & Pampa-Quispe, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: Una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Inia, I. N. de I. A.-. (2008). Producción y uso del humus de lombriz—Proyecto Perú conservación in situ de los cultivos nativos y sus parientes silvestres PER/98/G33. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*.
<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/119>
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos

- contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. <https://doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Khan, M. A., Khan, S., Khan, A., & Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Science of The Total Environment*, 601-602, 1591-1605. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.030>
- Leon Menacho, A. V. (2017). Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015—2016. *Repositorio Institucional Digital - UNASAM*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1900>
- Llugany, M., Tolrá, R., Poschnrieder, C., & Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16(2), Article 2. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/124>
- Loch Arellano, B. N. (2017). *Evaluación del uso de atriplex nummularia con la aplicación de enmiendas húmicas para la fitoestabilización de relaves mineros*. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/146093>
- McBRIDE, M., Sauve, S., & Hendershot, W. (1997). Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *European Journal of Soil Science*, 48(2), 337-346. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1997.tb00554.x>
- Pérez, J., & Del Real Laborde, J. I. (2007). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de Agave Tequilana Weber, en la zona de denominación de origen del tequila. *Libro Técnico*, 4, 1-89.

Pino, J. E. R. (2012). *EVALUACIÓN EX-SITU DEL ESTABLECIMIENTO DE TUNA CRIOLLA SOBRE RELAVES MINEROS ACONDICIONADOS*. 49.

Ramírez Gottfried, R. I., García Carrillo, M., Álvarez Reyna, V. de P., González Cervantes, G., Hernández Hernández, V., Ramírez Gottfried, R. I., García Carrillo, M., Álvarez Reyna, V. de P., González Cervantes, G., & Hernández Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1529-1540.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>

Ramírez Pino, J. E. (2012). *Evaluación ex-situ del establecimiento de tuna criolla sobre relaves mineros acondicionados*.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151273>

Rieuwerts, J. S., Thornton, I., Farago, M. E., & Ashmore, M. R. (1998). Factors influencing metal bioavailability in soils: Preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 10(2), 61-75. <https://doi.org/10.3184/095422998782775835>

Ruesta Campoverde, N. A. (2013). Manual Técnico: Lombricultura «Techo a dos Aguas». *Instituto Nacional de Innovación Agraria*.

<http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/756>

SEPULVEDA, T. Y. O. V. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto Nacional de Ecología.

Shaheen, S. M., Rinklebe, J., & Selim, M. H. (2015). Impact of various amendments on immobilization and phytoavailability of nickel and zinc in a contaminated floodplain soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), 2765-2776. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0713-x>

- Silveira, M. L. A., Alleoni, L. R. F., & Guilherme, L. R. G. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60(4), 793-806.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400029>
- The Mining Association of Canada. (2019). Guía para el manejo de depósitos de relaves. *The Mining Association of Canada*. <https://mining.ca/documents/guia-para-el-manejo-de-depositos-de-relaves/>
- Trujillo, K. M. (2013). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora santa rosa de Jangas. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*.
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2639>
- Yaron, B., Calvet, R., & Prost, R. (2012). *Soil Pollution: Processes and Dynamics*. Springer Science & Business Media.
- Yong, R. N., Warkentin, B. P., Phadungchewit, Y., & Galvez, R. (1990). Buffer capacity and lead retention in some clay materials. *Water, Air, and Soil Pollution*, 53(1), 53-67. <https://doi.org/10.1007/BF00154991>
- INTAGRI. 2017. *La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. Serie Suelos*. Núm. 26. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>.

ANEXO

Análisis foliar (TH) y radicular (TR) del *Agave americana* L.

INFORME DE ENSAYO OT200050 - A

CLIENTE
 Razón Social : EL SA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Psje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Agave Americano L.
 Matriz : Otros
 Procedencia : Planta Concentradora de Minerales de Santa Rosa de Jangas
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200015 - A

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 17/Agosto/2020
 Fecha de análisis : 17 de Agosto - 24 de Agosto/2020
 Cotización N° : CO200466

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	F1
					Fecha de muestreo *	15/08/2020
					Hora muestreo *	10:00
					Código de Laboratorio	OT200050 - A
ANÁLISIS DE NUTRIENTES EN PLANTAS						
NUP						
NUP02	Nitrógeno Total	% ms	Digestión Karoleff, nitrospectral	0.5		8.16
NUP03	Fosforo	% P	Vanadato molidato	10		4.2
NUP04	Potasio	% K	Kaliconat turbidimétric	0.01		14.6
METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT06	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		105.92
MPT09	Calcio total	mg/kg Ca	APHA 3500-Ca D	0.1		4140.6
MPT18	Magnesio total	mg/kg Mg	APHA 3500.Mg E	5.0		4477.6
MPT24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		< 120.366

* Datos proporcionados por el cliente

Huancayo, 24 de Agosto de 2020



MSC. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 624

INFORME DE ENSAYO OT200119

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC20044

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CO200466

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT1.1
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:00
					Código del Laboratorio	OT2000119
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		158.62
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		203.758

¹ Datos no suministrados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colás
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 804

INFORME DE ENSAYO OT200120

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC20044

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CO200466

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT1.1
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:00
					Código del Laboratorio	OT2000120
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		34.78
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		104.874

¹ Datos no suministrados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colás
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 804

INFORME DE ENSAYO OT200121

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paja Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paja, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200044

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Certificación N° : CC200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	RT1.2
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:20
					Código del Laboratorio	OT2000121
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		176.77
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		522.352

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Dalm. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 834

INFORME DE ENSAYO OT200122

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paja Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paja, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200044

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Certificación N° : CC200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	RT1.2
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:20
					Código del Laboratorio	OT2000122
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		31.04
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		124.353

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Dalm. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200123

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L.
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC20004

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21 Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	HT1.3
					Fecha de muestra ¹	18/12/2020
					Hora muestra ¹	08:40
					Código de Laboratorio	OT2000123
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		158.74
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		270.563

¹ Datos representativos por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colás
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

INFORME DE ENSAYO OT200124

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raiz Agave Americano L.
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200044

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	RT1.3
					Fecha de muestra ¹	18/12/2020
					Hora muestra ¹	08:40
					Código de Laboratorio	OT2000124
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		45.79
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		174.199

¹ Datos representativos por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colás
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

INFORME DE ENSAYO OT200125

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200495

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT2.1
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Hora muestra *	09:00
					Código del Laboratorio	OT2000125
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		161.77
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		379.136

* Datos no suministrados por el cliente

Huaraz, 11 de Enero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Guim, Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

INFORME DE ENSAYO OT200126

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raliz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200495

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	RT2.1
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Hora muestra *	09:00
					Código del Laboratorio	OT2000126
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		60.79
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		288.041

* Datos no suministrados por el cliente

Huaraz, 11 de Enero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Guim, Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

INFORME DE ENSAYO OT200127

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : 00200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	HT2.2
					Fecha de muestra ¹	15/12/2020
					Hora muestra ¹	08:20
					Código de Laboratorio	OT2000127
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		153.39
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		519.545

¹ Datos suministrados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancá, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200128

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Rahr Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : 00200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	RT2.2
					Fecha de muestra ¹	15/12/2020
					Hora muestra ¹	08:20
					Código de Laboratorio	OT2000128
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		61.09
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		279.497

¹ Datos suministrados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancá, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200129

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pzje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pzje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT2.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ²	09:40
					Código del laboratorio	OT2000129
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		288.89
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		628.019

¹ Fecha reservada para el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colías

INFORME DE ENSAYO OT200130

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pzje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Ralíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pzje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200045

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	RT2.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ²	09:40
					Código del laboratorio	OT2000130
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		28.21
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		312.672

¹ Fecha reservada para el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Colías
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200131

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT3.1
METALES TOTALES EN PLANTAS					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
MTP					Meta muestra ²	10.00
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02	Código del laboratorio	OT2000131
MPT30	Piomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		
						179.46
						423.934

¹ Fecha suministrada por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200152

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT3.1
METALES TOTALES EN PLANTAS					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
MTP					Meta muestra ²	10.00
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02	Código del laboratorio	OT2000132
MPT30	Piomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		
						27.20
						245

¹ Fecha suministrada por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200133

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	HT3.2
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Hora muestra *	10:25
					Código de Laboratorio	OT200133
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadcion	0.02		180.03
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		252.627

* Datos enumerados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancá, 11 de Enero de 2021

MSc. Guim. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM

INFORME DE ENSAYO OT200134

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	RT3.2
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Hora muestra *	10:25
					Código de Laboratorio	OT200134
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadcion	0.02		33.55
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		148.017

* Datos enumerados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancá, 11 de Enero de 2021

MSc. Guim. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

INFORME DE ENSAYO OT200135

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Psje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Psje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CC200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT3.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Horario muestra ²	10:40
					Código del Laboratorio	OT2000135
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		274.84
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		208.914

¹ Datos suministrados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coillas

Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200136

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Psje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raiz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Psje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200046

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero/2021
 Cotización N° : CC200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	HT3.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Horario muestra ²	10:40
					Código del Laboratorio	OT2000136
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		34.318
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		114.725

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancayo, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coillas

Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200137

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : C0200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	HT4.1
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	11:00
					Código de Laboratorio	OT2000137
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		199.68
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		328.500

¹ Datos suministrados por el cliente

Huaraz, 11 de Enero de 2021


 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200138

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Ralz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : C0200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	RT4.1
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	11:00
					Código de Laboratorio	OT2000138
MTP METALES TOTALES EN PLANTAS						
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivó de cadion	0.02		35.52
MPT30	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		197.316

¹ Datos suministrados por el cliente

Huaraz, 11 de Enero de 2021


 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200139

CLIENTE
 Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pzje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pzje. Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de planta	HT4.2
					Fecha de muestra ¹	18/12/2020
					Hora muestra ¹	11:20
					Código del laboratorio	OT200139
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Deriv. de cadion	0.02		130.22
MPT30	Plorio total	mg/kg Pb	PAR	0.100		157.920

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021



Mario Leyva Colias
 MSc. Quím. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200140

CLIENTE
 Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pzje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pzje. Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero 2021
 Cotización N° : CO200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de planta	RT4.2
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	11:20
					Código del laboratorio	OT200140
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Deriv. de cadion	0.02		39.51
MPT30	Plorio total	mg/kg Pb	PAR	0.100		89.802

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021



Mario Leyva Colias
 MSc. Quím. Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200141

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero2021
 Cotización N° : C0200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	HT4.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	11:40
					Código del Laboratorio	OT2000141
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		166.04
MPT30	Piomio total	mg/kg Pb	PAR	0.100		234.105

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO OT200142

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Raíz Agave Americano L
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200047

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/ Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 11 de Enero2021
 Cotización N° : C0200465

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	HT4.3
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	11:40
					Código del Laboratorio	OT2000142
MTP	METALES TOTALES EN PLANTAS					
MPT07	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.02		32.59
MPT30	Piomio total	mg/kg Pb	PAR	0.100		119.237

¹ Datos suministrados por el cliente

Huancá, 11 de Enero de 2021



MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

Análisis de agua potable



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 065**



Engleiro N° LE - 065

INFORME DE ENSAYO AG200451

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
Dirección : Paj. César Vallejo S/N Barrio San Francisco
Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Agua Potable
Matriz : Aguas para Uso y Consumo Humano - Agua de Bebida
Procedencia : Barrio San Francisco Distrito de Huaraz
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200167

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 22 Diciembre/2020
Fecha de análisis : 22 de Diciembre al 04 de Enero/2021
Cotización N° : CO200460

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M01
					Fecha de muestreo ¹	22/12/2020
					Hora de muestreo ¹	11:00
					Código del Laboratorio	AG200465
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ12	Conductividad ² (en laboratorio)	uS.cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2017	.....		107.4
FQ23	pH (en laboratorio)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B -Versión 2017 (*)	.....		6.98
MT	METALES TOTALES					
MT08	Cadmio total	mg/l Cd	Derivé de cadion (*)	0.002		0.006
MT24	Piomo total	mg/l Pb	PAR (*)	0.010		0.070

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

¹ Datos proporcionados por el cliente

² Resultados reportados a 25 °C.

Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

NOTA:

i. Tiempos de preservación de las muestras:

a) Conductividad = 28 días

"Fin del Informe de Ensayo"

Huaraz, 04 de Enero de 2021



MSC. Quím. Mario Leyva Collas
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CQP N° 604

Análisis del relave minero

INFORME DE ENSAYO OT200051 - A

CLIENTE
 Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Poje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Relave
 Matriz : Otros
 Procedencia : Planta Concentradora de Minerales de Santa Rosa de Jangas
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200018 - A

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica


LABORATORIO
 Fecha de recepción : 17/Agosto/2020
 Fecha de análisis : 17 de Agosto - 24 de Agosto/2020
 Cotización N° : CO200463

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	R
					Fecha de muestra	15/08/2020
					Hora muestra	10:00
					Código del Laboratorio	OT200051 - A
FQR	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS - MUESTRA DE RELAVE					
FQR01	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	NOM21 -AS - 18	.....		941
FQR02	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 981.12	.....		6.83
FQR12	Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100gr	Volumetría	1.0		18.1
MTR	METALES TOTALES EN RELAVE					
MTR01	Aluminio total	mg/kgAl	Cromoazurol S	0.020		288.9
MTR02	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.002		39.960
MTR03	Calcio total	mg/kgCa	APHA 3500-Ca D	0.1		3033.2
MTR04	Cobre total	mg/kg Cu	Cuprizona	0.02		192.6
MTR05	Cromo total	mg/kgCr	Difenilcarbazida	0.010		144.439
MTR06	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.010		999.600
MTR07	Zinc total	mg/kg Zn	CI-PAN	0.05		433.31
OT	OTROS COSTOS					
OT13	Potencial de Neutralización	CaCO_3 kg/T	Test ABA	.....		9.55
OT14	Potencial de Acidez	CaCO_3 kg/T	Test ABA	.....		2.81

Datos proporcionados por el cliente

Huaraz, 24 de Agosto de 2020




 MSc. Quím. Mario Cayva Coltes
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

Conductividad eléctrica y pH

INFORME DE ENSAYO CS200008 - A

CLIENTE
 Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200004 - A

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 19 Agosto de 2020
 Fecha de análisis : 19 de Agosto- 26 de Agosto/2020
 Cotización N° : CO200462

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	T1
					Fecha de muestra ¹	19/08/2020
					Hora muestra ¹	11:50
					Código del Laboratorio	OT200008 - A
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S\ cm^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		3440
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 981.12	.....		12.44

Fecha reevaluación del ensayo al cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 26 de Agosto 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200009 - A

CLIENTE
 Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200004 - A

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 19 Agosto de 2020
 Fecha de análisis : 19 de Agosto- 26 de Agosto/2020
 Cotización N° : CO200462

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	T2
					Fecha de muestra ¹	19/08/2020
					Hora muestra ¹	11:20
					Código del Laboratorio	OT200009 - A
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S\ cm^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		2960
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 981.12	.....		12.29

Fecha reevaluación del ensayo al cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 26 de Agosto 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200010 - A

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pajo Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pajo, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC200004 - A

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 19 Agosto de 2020
 Fecha de análisis : 19 de Agosto- 26 de Agosto 2020
 Cotización N° : CO200462

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T3
					Fecha de muestra ¹	19/08/2020
					Hora muestra ¹	11:40
					Código del Laboratorio	OT2000010 - A
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S \cdot cm^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		2980
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 081.12	.....		11.96

¹ Datos suministrados por el cliente

Huaraz, 26 de Agosto 2020

Fin del informe de Ensayo



MSc. Qlm. Mario Layva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200011 - A

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pajo Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pajo, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC200004 - A

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 19 Agosto de 2020
 Fecha de análisis : 19 de Agosto- 26 de Agosto 2020
 Cotización N° : CO200462

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T4
					Fecha de muestra ¹	19/08/2020
					Hora muestra ¹	12:00
					Código del Laboratorio	OT2000011-A
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S \cdot cm^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		2120
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 081.12	.....		12.24

¹ Datos suministrados por el cliente

Huaraz, 26 de Agosto 2020

Fin del informe de Ensayo



MSc. Qlm. Mario Layva Collas

Análisis de suelo (sustrato de los tratamientos)

INFORME DE ENSAYO CS200012

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200006

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : CO200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T1.1151
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:00
					Código del Laboratorio	OT2000012
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		8.59
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 861.12	.....		6.30
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		66.6
MTS24	Piombo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		208.250

Datos proporcionados por el cliente

Huaraz, 28 de Diciembre 2020

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Gelm. Mario Leyva Coliza

INFORME DE ENSAYO CS200013

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200006

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : CO200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T1.2151
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora muestra ¹	08:20
					Código del Laboratorio	OT2000013
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	NOM21-AS-18	.....		8.18
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 861.12	.....		6.05
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		59.3
MTS24	Piombo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		133.280

Datos proporcionados por el cliente

Huaraz, 28 de Diciembre 2020

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Gelm. Mario Leyva Coliza

INFORME DE ENSAYO CS200014

CLIENTE Razón Social : ELBA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200008

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre/2020
 Cotización N° : CO200484

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T1.351
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Horas muestra *	08:40
					Código del Laboratorio	OT2000014
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S/cm^*$	NOM21-AS-18	.....		8.33
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AQAC 881.12	.....		1096
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS06	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		51.28
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		149.940

* Datos proporcionados por el cliente

Huancá, 28 de Diciembre 2020

"Fin del Informe de Ensayo"



M.Sc. Quím. Mario Leyva Colles

INFORME DE ENSAYO CS200015

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200008

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre/2020
 Cotización N° : CO200484

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T2.151
					Fecha de muestra *	19/12/2020
					Horas muestra *	09:00
					Código del Laboratorio	OT2000015
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S/cm^*$	NOM21-AS-18	.....		8.81
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AQAC 881.12	.....		894
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS06	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		54.6
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		106.290

* Datos proporcionados por el cliente

Huancá, 28 de Diciembre 2020

"Fin del Informe de Ensayo"



M.Sc. Quím. Mario Leyva Colles

INFORME DE ENSAYO CS200016

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Peje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Peje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200006

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21 Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre/2020
 Cotización N° : CC000464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T2.0(5)
					Fecha de muestra ¹	18/12/2020
					Horario muestra ¹	08:28
					Código del Laboratorio	OT2000016
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	NOM21 -AS - 18	.....		8.53
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 961.12	.....		8.33
MTS METALES TOTALES EN SUELO						
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		63.9
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		133.280

Datos proporcionados por el cliente

Fin del Informe de Ensayo

Huáscar, 28 de Diciembre 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO CS200017

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Peje Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Peje, Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200008

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21 Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre/2020
 Cotización N° : CC000464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T2.0(5)
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Horario muestra ¹	08:40
					Código del Laboratorio	OT2000017
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	NOM21 -AS - 18	.....		8.31
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 961.12	.....		12.33
MTS METALES TOTALES EN SUELO						
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		36.8
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		299.880

Datos proporcionados por el cliente

Fin del Informe de Ensayo

Huáscar, 28 de Diciembre 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200018

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pje. Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21 Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : C0200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T3.1(S)
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora de muestra ¹	10:50
					Código del Laboratorio	OT2000018
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S\ cm^{-1}$	NCM21-AS-18	.....		8.76
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 981.12	.....		1144
MTS METALES TOTALES EN SUELO						
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		109.2
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		196.600

Datos proporcionados por el cliente

Huancuz, 28 de Diciembre 2020

"Fin del informe de Ensayo"



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200019

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Pje. Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Pje. Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21 Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : C0200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	T3.2(S)
					Fecha de muestra ¹	19/12/2020
					Hora de muestra ¹	10:25
					Código del Laboratorio	OT2000019
FQS ANALISIS FISICOQUIMICOS EN SUELOS						
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu S\ cm^{-1}$	NCM21-AS-18	.....		8.47
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 981.12	.....		846
MTS METALES TOTALES EN SUELO						
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		47.6
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		399.840

Datos proporcionados por el cliente

Huancuz, 28 de Diciembre 2020

"Fin del informe de Ensayo"



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200020

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : CO200484

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	Fecha de muestreo
					T3.2(S)	19/12/2020
					10-80	
					072000020	
FQS	ANÁLISIS FISIQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	NOM21-AS-18	.....	8.65	
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 981.12	.....	5.024	
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5	101.9	
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100	158.270	

Datos proporcionados por el cliente

Huancá, 28 de Diciembre 2020

"Fin del informe de Ensayo"



MSc. Quím. Merio Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200021

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paje Cesar Vallejo S/N - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paje, Cesar Vallejo S/N Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Cotización N° : CO200484

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	Fecha de muestreo
					T4.1(S)	19/12/2020
					11-00	
					072000021	
FQS	ANÁLISIS FISIQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	NOM21-AS-18	.....	8.58	
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AOAC 981.12	.....	1439	
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5	241.8	
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100	188.260	

Datos proporcionados por el cliente

Huancá, 28 de Diciembre 2020

"Fin del informe de Ensayo"



MSc. Quím. Merio Leyva Collas

INFORME DE ENSAYO CS200022

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paja Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paja Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Certificación N° : CC200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del Cliente	T4.3(5)
					Fecha de muestra *	18/12/2020
					Fecha muestra *	11.20
					Código del Laboratorio	OT2000032
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	NCM21 -AS - 18	.....		8.66
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 981.12	.....		1200
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		141.9
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		208.250

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancz, 28 de Diciembre 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental

INFORME DE ENSAYO CS200023

CLIENTE Razón Social : ELSA KATHERINE CADILLO CHAPETÓN
 Dirección : Paja Cesar Vallejo SIN - Barrio de San Francisco
 Atención : Elsa Katherine Cadillo Chapetón

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Otros
 Procedencia : Paja Cesar Vallejo SIN Barrio San Francisco
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 21/Diciembre de 2020
 Fecha de análisis : 21 de Diciembre- 28 de Diciembre 2020
 Certificación N° : CC200464

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del Cliente	T4.3(5)
					Fecha de muestra *	18/12/2020
					Fecha muestra *	11.40
					Código del Laboratorio	OT2000033
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS					
FQS09	Conductividad (en laboratorio)	$\mu\text{S cm}^{-1}$	NCM21 -AS - 18	.....		8.66
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	ADAC 981.12	.....		1894
MTS	METALES TOTALES EN SUELO					
MTS08	Cadmio total	mg/kg Cd	Derivé de cadion	0.5		42.5
MTS24	Plomo total	mg/kg Pb	PAR	0.100		199.920

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancz, 28 de Diciembre 2020



MSc. Quím. Mario Leyva Collas

Análisis estadístico

Concentración de Cd en hoja

ANOVA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5241.457	3	1747.152	.693	.582
Dentro de grupos	20176.069	8	2522.009		
Total	25417.526	11			

HSD Tukey			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
1	3	165.1100	
4	3	165.3133	
2	3	201.3497	
3	3	211.4433	
Sig.		.683	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Concentración de Pb en hoja

ANOVA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	121487.337	3	40495.779	2.530	.131
Dentro de grupos	128030.317	8	16003.790		
Total	249517.654	11			

Tukey

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
4	3	240.1750	
3	3	295.1583	
1	3	332.2237	
2	3	508.9000	
Sig.			.117

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Concentración de Pb en raíz

ANOVA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	51024.421	3	17008.140	7.357	0.011
Dentro de grupos	18493.708	8	2311.714		
Total	69518.129	11			

Tukey

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	3	134.4753	
T4	3	135.4517	
T3	3	169.2473	
T2	3		293.4700

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

Concentración de Cd en raíz

ANOVA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5241.488	3	1747.163	.693	.582
Dentro de grupos	20176.353	8	2522.044		
Total	25417.840	11			

Tukey		
Subconjunto		
Tratamiento	N	para alfa = 0.05
		1
T1	3	134.4753
T4	3	135.4517
T3	3	169.2473
T2	3	
Sig.		0.222

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.