



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación de *Juncus Arcticus* e incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORES:

ALARCÓN SALVADOR, WENDY KRISTELL

(0000-0002-9928-268X)

MASHUÁN BACTACIÓN, ANALÍ DIANA CRISTAL

(0000-0002-6717-2056)

ASESOR

Dr. Ugaz Odar Fernando Enrique

(0000-0002-1324-0551)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2018

Dedicatoria

Nuestra tesis va dedicada con mucho cariño a nuestros padres, abuelitos, tíos y hermanos; quienes son el motor y motivo de nuestro esfuerzo y perseverancia para el logro de nuestros objetivos, también a nuestros docentes que nos aportaron su conocimiento y nos encaminaron al mundo de la investigación científica durante nuestra trayectoria universitaria.

Agradecimiento

Nuestro agradecimiento en primer lugar va dirigido a Dios, por su infinito amor y por las bendiciones que derrama sobre nosotras. Agradecemos a nuestros padres; ya que, gracias a ellos tuvimos la oportunidad de continuar nuestros estudios superiores y nos brindaron su apoyo incondicional en el proceso de nuestra formación académica. Finalmente, agradecer a mi compañera de tesis, por su soporte, ayuda incondicional y su compromiso.

PÁGINA DEL JURADO

.....
Dr. Ugaz Odar Fernando Enrique
PRESIDENTE

.....
Msc. Moreno Eustaquio Walter
SECRETARIO

.....
Msc. Valderrama Ramos Isidoro
VOCAL

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Las tesis Alarcón Salvador, Wendy Kristell identificada con DNI N° 71650325 y Mashuán Bactación, Anali Diana Cristal identificada con DNI N° 46637521, estudiantes de la Universidad Privada César Vallejo – Trujillo, con la tesis titulada “EVALUACIÓN DE *Juncus arcticus* E INCORPORACIÓN DE ENMIENDA ORGÁNICA PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE HUAMACHUCO”

Declaramos bajo juramento que:

1. La presente tesis es de nuestra autoría.
2. Para la elaboración de esta tesis se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido autoplagiado; es decir no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, estos no han sido falseados ni duplicados, son datos veraces.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar a autores), auto plagio o falsificación de resultados, asumimos las consecuencias y sanciones que estas malas acciones deriven, sometidas a la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo.

Diciembre de 2018

Alarcón Salvador, Wendy

DNI: 71650325

Mashuán Bactación, Anali

DNI: 46637521

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Realidad problemática.....	11
1.2 Trabajos previos.....	13
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	15
1.3.1 Marco teórico.....	15
1.3.2 Marco conceptual.....	16
1.3.3 Marco legal.....	19
1.4 Formulación del problema.....	20
1.5 Justificación del estudio.....	21
1.6 Hipótesis.....	22
1.6.1 Hipótesis Afirmativa (H_1):.....	22
1.6.2 Hipótesis Nula (H_0):.....	22
1.7 Objetivos.....	22
1.7.1 Objetivo general.....	22
1.7.2 Objetivos específicos.....	22
II. MÉTODO.....	23
2.1 Diseño de Investigación.....	23
2.2 Variables, Operacionalización.....	23
2.3 Procedimiento experimental.....	24
2.4 Población y muestra.....	26
2.4.1 Población.....	26
2.4.2 Muestra.....	27
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	28
Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
2.5.1 Validez y confiabilidad.....	28
2.5.2 Recolección de la muestra.....	28
2.6 Métodos de análisis de datos.....	29
2.6.1 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk.....	29
2.6.2 Diseño completamente al azar (DCA).....	29
2.6.3 Método de Duncan.....	30
2.7 Aspectos éticos.....	30

III. RESULTADOS	31
IV. DISCUSIÓN	37
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS	41
ANEXOS	44

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el *Juncus arcticus* con la incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco, Perú. Trabajamos entre los meses de setiembre y diciembre de 2018, bajo condiciones de invernadero. Para extraer la muestra de suelo, se seleccionaron 13 puntos de muestreo próximos a una zona minera conocida como cerro El Toro en el caserío de Shiracmaca, Huamachuco. El método fue Pre-experimental, con una pre-prueba, pos-prueba y un tratamiento o estímulo. Los metales que se encontraron en mayor concentración en el suelo y excedieron el límite de los Estándares de Calidad Ambiental de suelo agrícola establecidos por el Ministerio del Ambiente, fueron: plomo, arsénico y cadmio que fueron encontrados mediante el método de ensayo de ICP-OES. Para evaluar la remediación de los suelos contaminados con Pb, Cd y As, se establecieron tratamientos que consistieron en tres porcentajes de enmienda orgánica (humus), y fueron: 30%, 40% y 50%. Para ello, plantamos la especie en macetas con capacidad de 1.5kg, estas macetas contenían el suelo contaminado y los diferentes porcentajes de humus orgánico. Se observó la adaptación de la planta al suelo y en nuestros resultados finales hubo disminución de concentración de metales pesados luego de aplicar el tratamiento. La prueba de Shapiro Wilk fue desarrollada, donde indicó que nuestros resultados son normales y para el análisis de varianza (ANOVA) al menos uno de los tratamientos fue diferente de los otros cuando se removió Pb, Cd y As. También se calculó el porcentaje de remoción de Pb, Cd y As y el metal que se removió más fue el Cadmio (73,4% de remoción). Mientras que la cantidad correcta de enmienda para el Cd y As fue de 30% y para el Pb fue de 50%. Se realizaron análisis iniciales de humedad para determinar el riego y análisis químicos (pH y conductividad eléctrica), donde se adaptó el pH a ácido para tener una mejor remoción de los metales pesados. Finalmente, se recomendó realizar un análisis de planta de la parte aérea y raíz para conocer en donde se almacenaron dichos metales y también se recomendó aplicar los tratamientos con un periodo de tiempo más extendido para que haya una mayor remoción.

Descriptor: remediación, *Juncus arcticus*, enmienda orgánica, suelos contaminados, metales pesados.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the *Juncus arcticus* with the incorporation of organic amendment for the remediation of contaminated soils with heavy metals of Huamachuco, Perú. We worked between the months of September and December 2018, under greenhouse conditions. To remove the soil sample, we selected 13 sampling points close to a mining area known as hill El Toro in the hamlet of Shiracmaca, Huamachuco. The method was Pre-experimental, with a pre-test, pos-test and a treatment or stimulus. The metals that were found in greater concentration in the soil they exceeded the limit of the agricultural soil environmental quality standards set by the Ministry of the environment, were: lead, arsenic and cadmium, which were found by the ICP-OES test method. To evaluate the remediation of soils contaminated with Pb, Cd y As, treatments were established that consisted in three percentages of organic amendment (humus), and went: 30%, 40% y 50%. To do this, we planted the species in pots with capacity of 1.5 kg, these pots contained contaminated soil and the different percentages of organic humus. The adaptation of the plant to the soil was observed and in our final results there was a decrease in the concentration of heavy metals after applying the treatment. The Shapiro Wilk test was developed, where he indicated that our results are normal and for the analysis of variance (ANOVA) at least one of the treatments was different from the others when by removing Pb, Cd and As. It also calculated the percentage of removal of Pb, Cd and As and the metal that was removed the most was cadmium (73.4% of removal). While the correct amount of amendment for the Cd and As was of 30% and for the Pb was of 50%. Initial moisture analyses were conducted to determine irrigation and chemical analysis (pH and electrical conductivity), where the pH was adapted with acid for to have a better removal of heavy metals. Finally, it was recommended to an analysis of plant aerial parts and root to know where stored these metals and It was also recommended to apply treatments with a more extended time period so there is a greater removal.

Keywords: remediation, *Juncus arcticus*, organic amendment, contaminated soils, heavy metals

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en nuestro país, las actividades extractivas son una fuente principal de divisas, las cuales dan estabilidad económica al Perú. La industria extractiva genera desarrollo, pero deja grandes consecuencias negativas sociales y ambientales. En la región La Libertad, muchos de los casos preocupantes se dan en el distrito de Huamachuco, ubicado a 184 km de Trujillo y a 3,269 msnm, la actividad minera a pequeña y gran escala, arrasan sin medida con los componentes ambientales del lugar, sin respetar las normativas del país.

Consecuencia de ello se ven afectados los recursos naturales, de los cuales uno de los más afectados es el suelo, siendo contaminado sin medida y como potencial contaminador cuando se dan las precipitaciones en la zona, por infiltración de contaminantes a los acuíferos. El suelo pierde sus propiedades fisicoquímicas, transformándose en suelos estériles, la población se ve afectada por ello con la disminución de la producción agrícola.

Por lo mencionado anteriormente, es necesario buscar alternativas sostenibles y económicas como la remediación; y por ello planteamos el proyecto titulado “EVALUACIÓN DE *Juncus arcticus* E INCORPORACIÓN DE ENMIENDA ORGÁNICA PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS DE HUAMACHUCO” para poder recuperar la calidad de estos suelos y evitar la biodisponibilidad de contaminantes, siendo nuestro objetivo principal evaluar el *Juncus arcticus* y la incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco.

Buscando contribuir a la mitigación de la contaminación de este recurso, con una alternativa de solución económica y ambientalmente viable, para la mejora de la calidad de vida principalmente de las personas que radican cerca a esta área contaminada.

1.1 Realidad problemática

En el Perú la minería se desarrolla desde épocas inmemoriales, muestra de ello la cultura Mochica presente en nuestra región La Libertad, encontrándose piezas de orfebrería y ornamenta que utilizaban las autoridades de esta cultura. En la época colonial no se desarrollan trabajos mineros por varios años, salvo hasta el descubrimiento en 1566 de la mina de mercurio, llamada Santa Bárbara, el mercurio servía para beneficiar la plata por amalgamación (Instituto de ingenieros de Minas del Perú). En los años 90 con el cambio de modelo económico en el país se inicia la fase expansiva que hoy llega hasta la actualidad, siendo la minería un pilar fundamental de la economía peruana, somos un país rico en recursos minerales, lo que nos hace atractivos para empresas extranjeras que buscan invertir en proyectos extractivos de gran envergadura.

Somos un país minero desde nuestros orígenes, con actividades económicas muy significativas ligadas principalmente a la extracción de recursos minerales, lo cual constituye un factor importante en la economía del país; sin embargo, esta actividad también viene generando conflictos sociales en las últimas décadas, así como graves impactos negativos al ambiente. Los conflictos sociales se originan por el mal concepto que hoy se tiene hacia el desarrollo de la minería en cualquier zona del país, relacionamos minería con contaminación, porque es el resultado que nos dejó la actividad minera en el pasado, contaminación de nuestros recursos (suelo, agua, aire) pérdida de nuestra riqueza en flora y fauna, degradación y pobreza. En la actualidad la actividad minería ilegal, es la más nociva, aquella que arrasa con todo a su paso sin el menor respeto por la naturaleza.

La actividad minera formal, busca cumplir con la legislación y normativa peruana, en sus procesos extractivos y sociales. Digamos que es la más “consciente” o racional, pero por ello no podemos decir que su impacto es cero, toda actividad genera alteración en el ambiente, el hecho es hacer una buena valoración y ver si los impactos son muy significativos o si son tolerables por el ambiente y la sociedad.

La Libertad, es la región que presenta uno de los mayores porcentajes de desarrollo de esta actividad, tanto de manera formal e informal, debido a la bonanza del precio del oro y otros metales, muchas veces operando sin criterio técnico y sin ningún tipo

de programas de seguridad para los trabajadores y el ambiente. Todo ello se ve reflejado en las grandes extensiones de paisaje dañado, pasivos y relaves mineros, drenajes ácidos de mina, suelos contaminados, daño a la flora y fauna del lugar.

El lugar más conocido como cerro “El Toro”, ubicado en el distrito de Huamachuco, La Libertad; donde laboran más de 3500 mineros ilegales que extraen oro a tajo abierto y socavones sin medidas de seguridad, esta actividad se viene desarrollando desde el año 2000 y trae como consecuencia diversos daños a la comunidad aledaña donde existe presencia de viviendas y escuelas (AURAZO, 2017).

El desarrollo de esta actividad ha producido la pérdida, disminución y degradación en uno o más de los componentes ambientales de la zona, generando la alteración de los ríos, aire, suelos, flora, fauna y paisajes por el vertimiento de grandes cantidades de residuos minerales propiciando daño e inestabilidad en los ecosistemas (AURAZO, 2017).

Los procesos de almacenamiento e infiltración de los residuos generados por esta actividad y la eliminación inadecuada de los mismos, ocupan áreas en su mayoría expuestas a la intemperie, que entran en contacto con las personas y el ambiente, siendo el recurso suelo uno de los más afectados, por tanto, los terrenos de cultivo tienden a perder sus propiedades fisicoquímicas y como consecuencia se hacen estériles producto de la contaminación, afectando a la población (MUQUI, 2017).

Las precipitaciones en épocas grandes avenidas, aceleran el proceso de la contaminación del suelo y por medio de la infiltración se contaminan los acuíferos, no olvidemos que gran porcentaje de la población que radica en distritos como Huamachuco, su fuente de ingreso económico es el desarrollo de actividad agrícola, el cual se ve afectado por la contaminación del suelo, se reduce la fertilidad, se daña su textura, volviéndola estéril, afectando a muchas familias. El daño ambiental es evidente, pero el daño que genera a la salud de las personas requiere de tiempo para demostrar la bioacumulación de los metales tóxicos en el cuerpo, hasta que ello suceda se deteriora la salud de las personas que radican en lugares aledaños a los depósitos de relaves mineros.

En el lugar, es notable el crecimiento de diversas especies de flora silvestre y cultivos alimenticios, pero viene siendo destruida por la cercanía de las pozas de cianuro que

en épocas de grandes precipitaciones lavan completamente la zona, la pendiente facilita el recorrido del contaminante y falta de cobertura vegetal agrava todo ello, ocasionando la pérdida de cultivos y afectando a familias que se dedican a la agricultura, se reduce la capacidad de producción del suelo, los cultivos al acumular contaminantes no se desarrollan de manera adecuada. Entender que lo que se encuentra en riesgo es la integridad de las personas, el suelo que es el soporte, la capa donde se generan los alimentos y por ende la vida, todos necesitamos de este recurso indispensable, comprender su importancia y lo esencial que es remediar los suelos. Sobre todo, mejorar las condiciones de vida de los pobladores de este distrito que se ven afectados de manera directa.

Para facilitar el desarrollo de la investigación emplearemos una enmienda, que es el humus orgánico, este será empleado para mejorar las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas, siendo una alternativa rentable económicamente.

Es por ello, que el equipo de trabajo propone el proyecto de investigación para remediar el suelo contaminado con metales pesados a través del método de extracción con la especie *Juncus arcticus* adicionando la enmienda (humus orgánico), que se desarrollará en el distrito de Huamachuco, para contribuir a la conservación del suelo y salud de la población, el cumplimiento de los estándares establecidos por el Ministerio del Ambiente, gracias a la capacidad extractiva de metales presentes en suelos contaminados del lugar de investigación.

1.2 Trabajos previos

Se pudieron recopilar diversos trabajos respecto a métodos de solución para tratamientos de suelos contaminados con presencia de diversos metales pesados y los tipos de flora que se utilizaron para el tratamiento.

- En el año (2013), en una tesis propuesta por Lizarbe, K. y Rivera, Y., de la Universidad Nacional de Trujillo titulada “Optimización del crecimiento de *Helianthus annuus L.* (Girasol) para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves de minería artesanal del caserío de Zarumilla, Pataz”, el desarrollo del proyecto se generó complementando materia orgánica e inorgánica en suelos contaminados con metales pesados a causa de la actividad minera para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio, utilizando tratamientos con desiguales

porcentajes de relave – materia y con seis repeticiones cada una, manifestando resultados de crecimiento del girasol y acumulando los tres metales en sus tejidos, siendo la raíz el órgano de mayor bioacumulación.

- Por su parte Chávez, Luciana en su tesis titulada “Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo”, comprobó la capacidad fitorremediadora de especies de flora nativa ubicadas en zonas expuestas a contaminantes originados por la actividad minera (metales pesados) encontrados en la ciudad de La Oroya y Lago Junín (departamentos de Cerro de Pasco y Junín - Perú), lugares con gran presencia de pasivos mineros, seleccionando dos especies *Calamagrostis* y *Nicotiana*, asumiendo que la *Nicotiana* muestra mayor potencial de fitorremediación por su crecimiento de biomasa aérea, extracción del metal, capacidad natural de remediar el suelo con presencia de metales hacia las partes aéreas e inmovilidad del metal en la raíz y a su mejor adaptación a otras condiciones climáticas.
- Según el artículo presentado en la revista Biologist titulado “Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos con presencia de plomo y cadmio utilizando la especie *Alopecurus Magellanicus Bracteatus* y *Muhlenbergia Angustata* (Poaceae), Puno, Perú” (Junio – 2014), se estipuló las cifras biológicas de fitorremediación de la planta en mención en suelos contaminados con metales pesados con presencia de Pb y Cd. El análisis se ejecutó mediante espectrometría por plasma inductivamente acoplado, donde se ultimó que el potencial de fitorremediación para ambas especies de plantas fue menor
- En el año 2014, la revista peruana de biología divulgó un proyecto de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Jara, E. y Gómez, J., “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados”, se utilizaron semillas de *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*. El ensayo fue ejecutado en condiciones de

invernadero en el distrito de Lachaqui situado a una altitud de 3668 m provincia de Canta, región Lima, evaluando 20 tratamientos con 5 repeticiones por tratamiento y concluyendo que la creación de biomasa en las cinco especies redujo significativamente en un 100% de relave de mina. En *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertes malva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, muestran los mayores valores de concentración de plomo y cadmio en las raíces.

- Medina, Katy y Montano, Yeidy en su tesis “Determinación del factor de bioconcentración y translocación de metales pesados en el *Juncus arcticus Wild* y *Cortaderia rudiusscula Stapf*”, en el 2014, tuvo como objetivo obtener el factor de bioconcentración (BCF) y el factor de translocación (TF) de metales pesados en las dos especies anteriormente mencionadas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza – Ancash. Se identificó la presencia de Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co y Cr, Cd, Sb, Cu, Zn, Pb y As en los suelos, al generar el análisis en las plantas se pudo concluir que el *Juncus arcticus Wild* es fitoextractora por su alta acumulación de concentraciones de Cd, Mn, Zn y Ni, fitoestabilizadora para el Al, As, Cu, Fe, Sb y Ag y bioconcentración (BCF=0.2) bajas concentraciones de Pb en su raíz pero trasloca altas concentraciones a su parte aérea (TF=1.9) mientras que la *Cortaderia rudiusscula Stapf* es muy fitoextractora para el Mn y Zn, fitoestabilizadora para el Cu, Ag y Ni, pero tiene baja bioconcentración y translocación de Pb.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Marco teórico

Fitorremediación es un método para degradar, asimilar y metabolizar compuestos orgánicos y metales pesados por medio del uso especies vegetales en el lugar contaminado. (MENTABERRY, 2011).

Dicho método es considerado como el más sustentable para el tratamiento y recuperación de los suelos contaminados con metales pesados. Es una tecnología beneficiosa para el ambiente y no es invasiva porque permite recuperar las principales características, estructura y función del suelo. Las variables que

involucran a la fitorremediación son: características del suelo, nivel de contaminación, especie vegetal y clima.

Existen tres tipos de métodos para remediar el suelo y son: a) físicos, restringen el riesgo de los contaminantes por contención y remoción. b) químicos, que alteran la especie y aumentan su extracción y movilidad o para reducir los riesgos de exposición y c) biológicos, se usan plantas y microorganismos para contener y remover los metales pesados (INFANTE, 2017).

Entre los beneficios de la fitorremediación tenemos a que no usa energía, más que la solar, su costo es reducido, es más aceptado por la población, es estético, no requiere de especialistas y ayudan a reducir la erosión del suelo; y entre las desventajas tenemos a que es un proceso lento y concentración limitada de metales (CARRILLO, 2015).

Finalmente, la aplicación de enmiendas orgánicas es una práctica ancestral que ha ido variando y desarrollando con el tiempo, son usadas en suelos agrícolas y forestales, pues son una fuente de nutrientes que permiten mejorar las propiedades del suelo para que tengan una mayor fertilidad. El contenido de nutrientes se divide en una parte orgánica y una soluble o disponible, siendo importante para la disponibilidad de las plantas; la composición nutricional de la enmienda varía según el tipo y raza de animal, dieta, tipo de cama, manejo y tratamiento de los residuos (HIRZEL, J., 2011).

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1 Fitorremediación

Es una técnica que usa la capacidad de algunas plantas para sobrevivir en lugares contaminados con metales pesados y sustancias orgánicas que cumplen ciertas funciones como la extracción, la acumulación y estabilización de los contaminantes presentes en el suelo. Las especies vegetales poseen mecanismos y capacidad de adaptación para tolerar

metales en distintas partes de la planta como raíz y tejidos (ORTIZ, 2007).

1.3.2.2 Suelos contaminados

Es la presencia de elementos nocivos que causan una alteración al suelo, por vertimiento de aguas residuales, uso excesivo de fertilizantes, desechos de hidrocarburos, metales pesados y químicos (FABELO, 2016).

1.3.2.3 Metales pesados

Son componentes traza o componentes potencialmente tóxicos, que tienen una densidad mayor a 5 gramos cm^{-3} . Estos elementos están presentes en un medio o sistema en concentraciones muy reducidas, pero causan efectos negativos (INFANTE, 2017).

1.3.2.4 *Juncus arcticus*

Esta especie herbácea es una planta perenne que crece de 0.30 a 1.25m de largo y no solo en lugares húmedos, también en suelos, parcelas, etc. Su clase es Liliopsida, su orden es de poales y su familia es juncaceae (HANAN, A. 2009).

1.3.2.5 Remoción

El término de remoción se define como el acto de retirar o remover algún compuesto presente en un medio, en el caso de una planta con capacidad de remoción se puede determinar como la absorción, acumulación del contaminante a través de la especie a tratar (PRIETO, J. 2009).

1.3.2.6 Parte aérea de la planta

Se refiere a las partes de la especie vegetal que está por encima del suelo. Por ejemplo: tallo, flores, frutos, semillas y hojas. Que permiten la producción y la supervivencia de la planta (DIGFINEART, 2018).

1.3.2.7 Raíz

Es un órgano que normalmente es subterráneo y no tiene hojas, crece en dirección opuesta al tallo y sus funciones relevantes con la fijación de la especie al suelo y a través de ello absorbe agua y nutrientes (DURÁN, M., 2012).

1.3.2.8 Enmienda orgánica

Hay diferente clasificación de las enmiendas: desechos de origen animal, lodos de tratamiento de residuos de actividades industriales, y subproductos de las actividades productivas, que son usados como nutrientes esenciales para el suelo (HIRZEL, J., 2011).

1.3.2.9 Humus orgánico

Es un tipo de enmienda orgánica que proviene de la actividad de lombrices sobre la materia orgánica. El color del humus es marrón oscuro, este aporta nutrientes al suelo de forma natural, mejorando la retención de agua durante el riego y mejora la estructura del suelo. (NARVÁEZ, F., 2017)

1.3.2.10 Humedad

El contenido de la humedad de un suelo es por sí mismo la relación del cociente de peso de las partículas sólidas y en las cantidades de agua que guarda el suelo, lográndose determinar como el porcentaje de humedad presente en suelo. Para lograr determinar el contenido de humedad este puede variar según su función de tiempo mientras que el peso seco es constante a través del tiempo (CONDORI, M. 2016)

1.3.2.11 Parámetros fisicoquímicos

Se definen a estos parámetros como la presencia de elementos químicos que están disueltos o no en el agua o suelo (BARRENECHEA, A. 2009).

1.3.2.12 pH

Medida que indica el grado de alcalinidad y acidez de una sustancia a evaluar y sus valores varían de 0 a 14. Es importante porque mide la cantidad de iones de hidrógenos e hidróxido en una sustancia (GONZÁLES, 2011).

1.3.2.13 Conductividad eléctrica

Es una medida que indica si las soluciones acuosas conducen a la corriente de electricidad. Este parámetro depende de la concurrencia de iones, movilidad, temperatura y concentración. Sus unidades son microsiemens por centímetro o milisiemens por centímetro (SUAREZ, D., 2006).

1.3.2.14 Caserío de Shiracmaca

Este caserío pertenece al distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión y departamento de La Libertad y se encuentra ubicado aproximadamente a 3 200 m.s.n.m., aquí se encuentra el denominado Cerro el Toro donde hay presencia de un gran número de mineros artesanales.

1.3.3 Marco legal

1.3.3.1 Normativa Ambiental

El Estado es el responsable de promover y regular el uso sostenible del suelo, busca prevenir o minimizar la pérdida y deterioro por contaminación o erosión. La actividad productiva, extractiva o de servicios debe evitar el uso de suelos agrícolas (MINAM, 2013).

1.3.3.2 Guía de muestreo de suelos

Esta guía permite realizar un muestreo adecuado del suelo en estudio, contiene un conjunto de procedimientos que nos permitirán determinar la contaminación, dimensión

concentración y acciones de remediación para el recurso (MINAM, 2014).

1.3.3.3 ECA Suelo

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Los estándares de Calidad Ambiental son un referente obligatorio para diseñar y aplicar los instrumentos de gestión ambiental y se aplican parámetros para ciertas actividades extractivas, productivas y de servicios (MINAM, 2017).

1.4 Formulación del problema

¿Qué resultado obtenemos al evaluar *Juncus arcticus* e incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco?

1.5 Justificación del estudio

En la localidad de Shiracmaca se hace presente la actividad económica de minería, la mayor parte artesanales informales, una de ella es ALVA S.A.C, esta viene realizando con los años actividades de extracción de minerales como el óxido y sulfuros, para extraer el mineral se hace uso de insumos como el cianuro en sus pozas de lixiviación, causa principal de la contaminación en el medio ambiente, a la población, agua y suelo; puesto a que la labor minera se encuentra cerca de áreas de cultivo como es el maíz, la papa y el camote, además de la ganadería que está en campo de pastoreo vecino. Sin embargo, dentro del área afectada existen plantas con capacidad de desarrollo y resistencia entre ellas está la (La grama, Ichu, Junco, suro, entre otros) y según estudios se identifica que la especie *Juncus arcticus* tiene propiedades para estabilizar, remover, e inactivar estos contaminantes. Este estudio se enfocará en aplicar el método de fitoextracción a través de la especie *Juncus arcticus*, donde se trabajará junto a una enmienda orgánica (humus orgánico), aportando a la muestra nitrógeno, potasio, fósforo y oligoelementos, permitiendo extraer concentraciones de metales pesados presentes en el suelo, de tal manera que no afecté a la población y al medio ambiente. Los componentes tóxicos que contiene dichos metales; modifican la estructura física – química del suelo, originando gran contaminación e infertilidad. Las normas de protección medioambiental restringen el uso de insumos químicos usados en la actividad minera ALVA S.A. Es por ello que con la aplicación del método de fitoextracción de la especie *Juncus arcticus* reduciremos gran parte de concentración de metales presentes en el suelo de la zona, siendo también económicamente rentable la aplicación puesto a que se llevará a cabo con insumos propiamente de la zona, asimismo estaremos contribuyendo a disminuir el impacto de degradación del medio ambiente y daños en la salud de la sociedad aledaña a la actividad.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis Afirmativa (H₁): El *Juncus arcticus* y la incorporación de enmienda orgánica remedian los suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco.

1.6.2 Hipótesis Nula (H₀): El *Juncus arcticus* y la incorporación de enmienda orgánica no remedian los suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

- Evaluar el *Juncus arcticus* y la incorporación de enmienda orgánica para la remediación de suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco.

1.7.2 Objetivos específicos

- Realizar análisis físicos y químicos pre, de los suelos contaminados con metales pesados de Huamachuco.
- Evaluar la remoción de metales pesados con diferentes concentraciones de enmienda orgánica con *Juncus arcticus*, en condiciones de invernadero.
- Evaluar los resultados obtenidos con los valores de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelo, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de Investigación

El diseño que se aplicará a nuestro proyecto de investigación, será el Pre-experimental, específicamente el diseño con pre-prueba, pos- prueba y un tratamiento (estímulo). Su representación es la siguiente y puede extenderse a más grupos:

G₁ O₁ X₁ O₂

G₂ O₃ X₂ O₄

G₃ O₅ X₃ O₆

Donde:

G₁, G₂ y G₃: Grupo experimental

X₁, X₂ y X₃: Tratamiento

O₁, O₃ y O₅: Pre-prueba

O₂, O₄ y O₆: Pos-prueba

Finalmente:

Tratamiento (X) = Suelo contaminado + *Juncus arcticus* +
% Materia orgánica

TABLA 1: Características de los tratamientos

Tratamiento	Característica del tratamiento
X₁	Suelo contaminado + <i>Juncus arcticus</i> + Enmienda orgánica (30%)
X₂	Suelo contaminado + <i>Juncus arcticus</i> + Enmienda orgánica (40%)
X₃	Suelo contaminado + <i>Juncus arcticus</i> + Enmienda orgánica (50%)

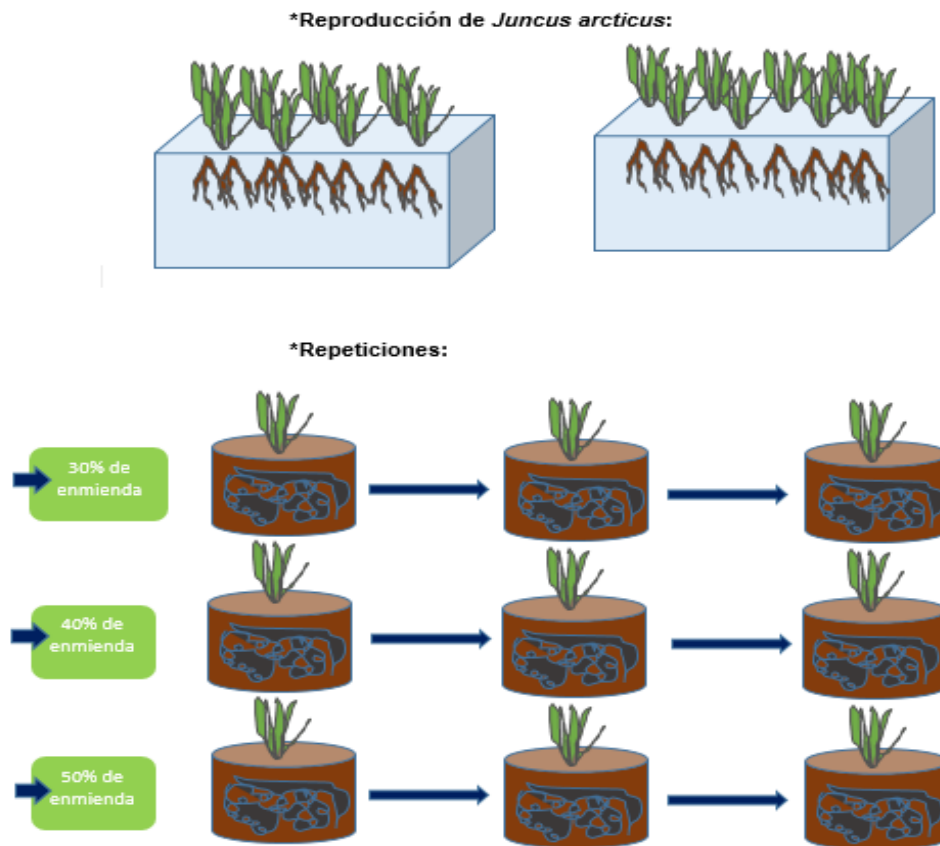
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la Tabla 1, se muestran las características de los tratamientos que se aplicaron a cada maceta. En el Anexo 5, se especifica la cantidad en gramos del humus orgánico y el suelo contaminado.

2.2 Variables, Operacionalización

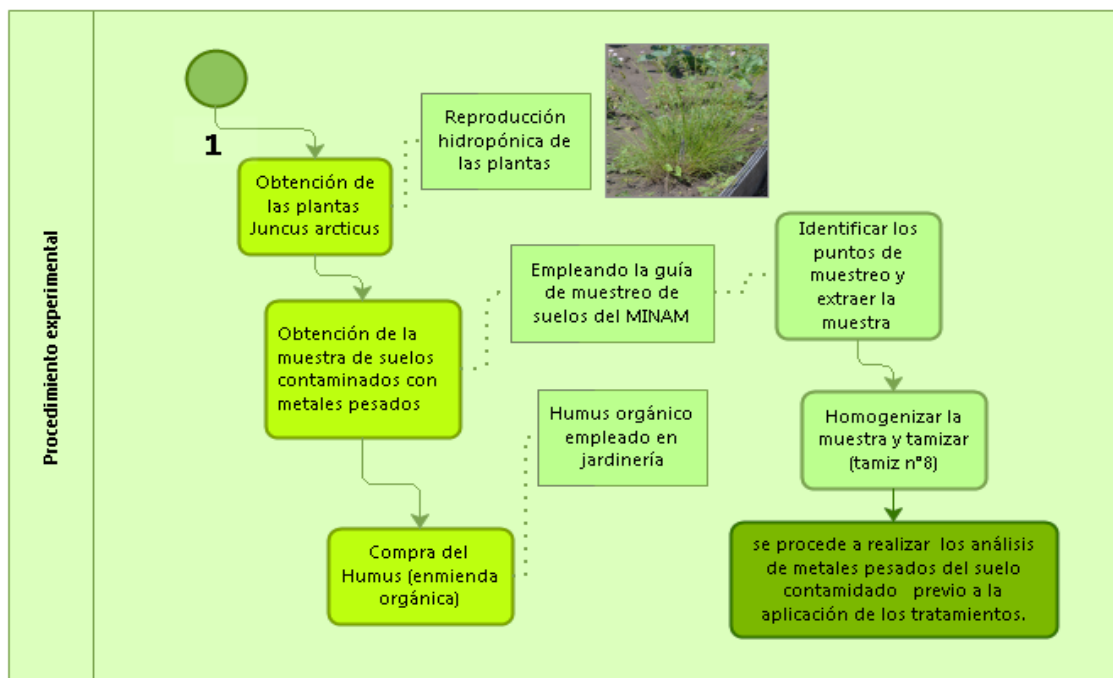
- **Variable Independiente (VI):** Enmienda orgánica
- **Variable Dependiente (VD):** Suelos contaminados con metales pesados

2.3 Procedimiento experimental



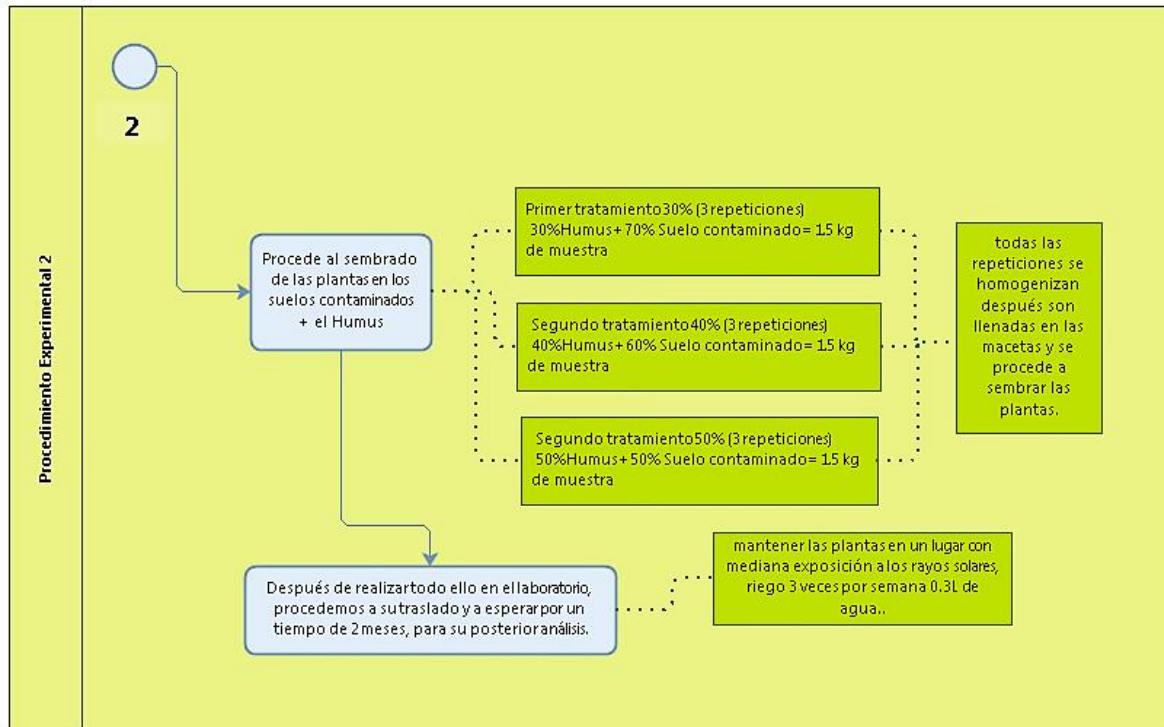
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

IMAGEN N 1: Primer procedimiento experimental



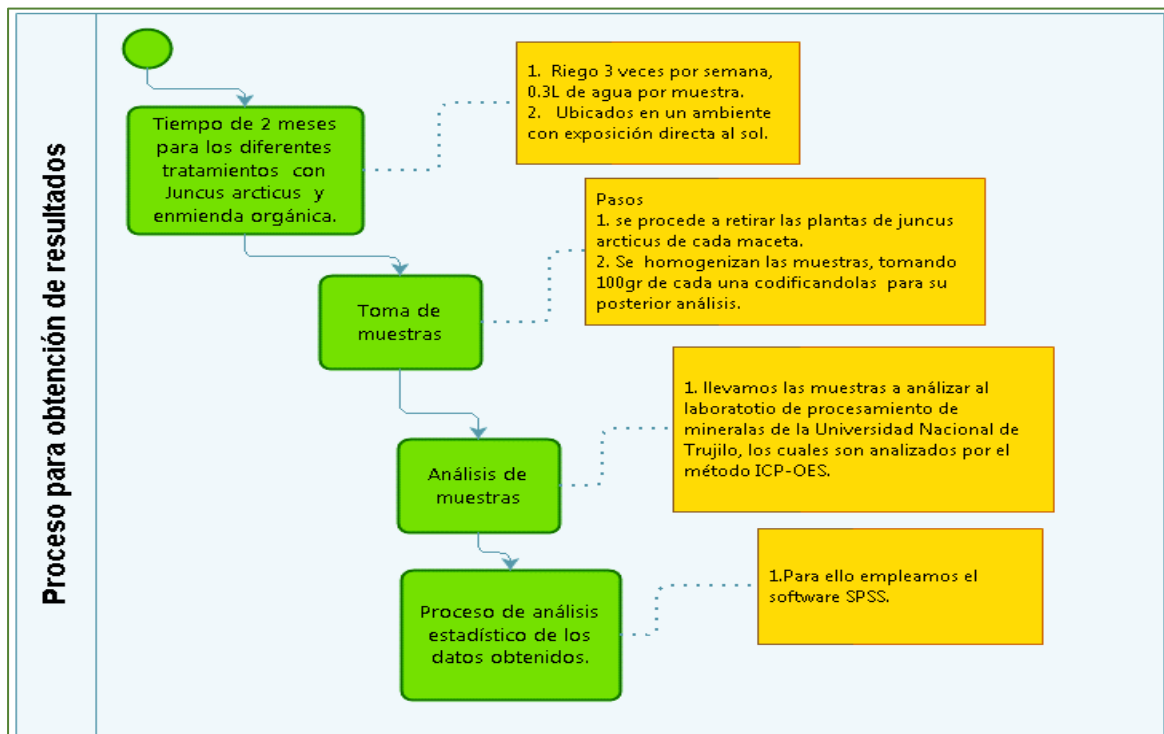
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

IMAGEN 2: Segundo procedimiento experimental



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

IMAGEN 3: Proceso para la obtención de resultados



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

TABLA 2: Operacionalización de variables

VI VD	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
VI: Enmienda orgánica	La enmienda orgánica es una fuente de nutrientes que mejoran la fertilidad del suelo y permitirá el desarrollo adecuado de la especie mencionada (HIRZEL, J. 2011).	Se incorporarán enmiendas orgánicas a diferente cantidad, luego las plantas serán analizadas en su parte aérea y raíz para obtener resultados y evaluar la remediación.	Cantidad de enmienda orgánica	30%	Razón
				40%	Razón
				50%	Razón
VD: Suelos contaminados con metales pesados	Presencia de sustancias tóxicas en el suelo como plomo, cadmio, zinc o arsénico a diferentes concentraciones y niveles de profundidad que provoca que este recurso tenga limitaciones biológicas, químicas y físicas, dificultando el desarrollo de la vegetación y representando un riesgo para la salud. (PUGA, S. et-al. 2006)	Se realizará un análisis del suelo antes de aplicar el método de remediación. Luego se hará un análisis final del suelo, ya con la aplicación del método de remediación y con la incorporación de enmiendas orgánicas para demostrar que los metales pesados fueron removidos. Finalmente, el suelo cumple con los estándares establecidos.	Concentración de metales en el suelo	Plomo	Intervalo
				Cadmio	Intervalo
				Arsénico	Intervalo
			Parámetros físicos	Humedad	Razón
			Parámetros químicos	pH	Razón
				Conductividad Eléctrica	Intervalo

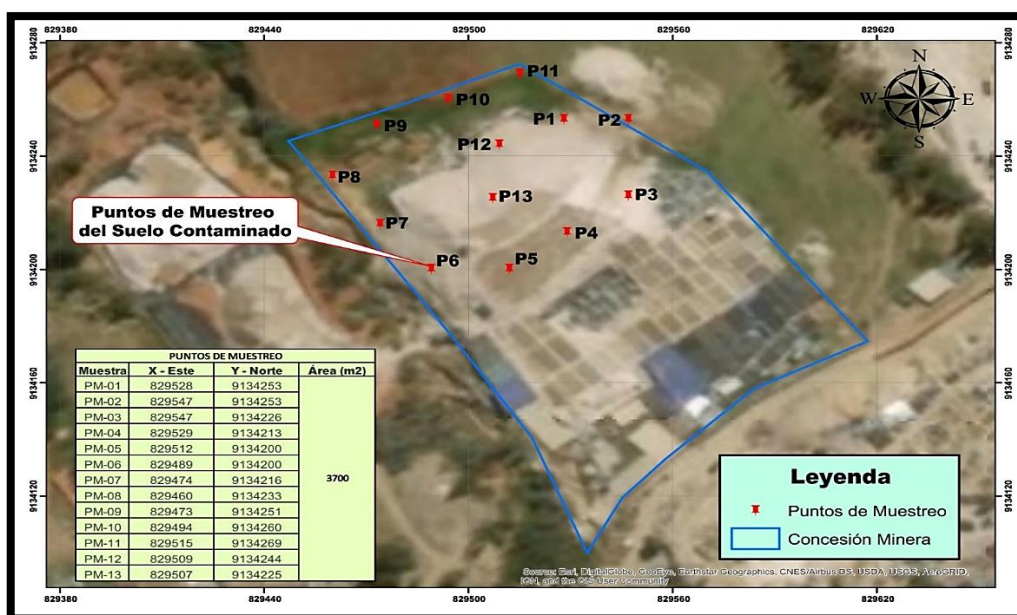
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

2.4 Población y muestra

2.4.1 Población

La población seleccionada serán los relaves provenientes de antiguas actividades mineras generadas a faldas del Cerro el Toro, lugar que pertenece al Caserío de Shiracmaca, distrito de Huamachuco, La Libertad.

IMAGEN 4: Puntos de muestreo en el plano



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

2.4.2 Muestra

Se trabajó con el muestreo de comprobación de la remediación, considerando el método para áreas de contaminación de forma regular de 1 000m² hasta 9 999 m². El número de muestras y distribución será de un punto muestra por cada 75 a 100 m. (MINAN, 2014).

TABLA 3: Puntos de muestreo

Muestra	X – Este	Y – Norte	Área (m ²)
PM – 01	829528	9134253	3700
PM – 02	829547	9134253	
PM – 03	829547	9134226	
PM – 04	829529	9134213	
PM – 05	829512	9134200	
PM – 06	829489	9134200	
PM – 07	829474	9134216	
PM – 08	829460	9134233	
PM – 09	829473	9134251	
PM – 10	829494	9134260	
PM – 11	829515	9134269	
PM – 12	829509	9134244	
PM – 13	829507	9134225	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se considerará como técnica de recolección de datos a la observación experimental y como instrumento hoja o ficha de recolección de datos.

2.5.1 Validez y confiabilidad

Para la validación y confiabilidad en los análisis de suelo a realizar, se ejecutarán en el laboratorio de Procesamiento de minerales de la facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional de Trujillo.

Para el correcto muestreo se emplea La Guía de Muestreo de Suelos DS N°002-2013-MINAM, quien brinda especificaciones necesarias para: la determinación de la existencia de contaminación en el suelo y dimensión de la contaminación, estableciendo también diferentes técnicas de muestreo, criterios para la determinación del número de muestras, así también medidas necesarias de calidad para la toma y manejo de muestras de suelos.

2.5.2 Recolección de la muestra

Tomando en cuenta la Guía para Muestreo de Suelos en el marco del D.S. 002-2013-MINAM ECA para Suelos, el proceso para la obtención de la muestra se realizará a través de un muestreo de calicata, tomando en cuenta las para áreas de contaminación de forma regular. El área de profundidad excavada será de 20 cm aproximadamente, extrayendo 1.50 kg por calicata. La procedencia del lugar de la muestra será en el Caserío de Shiracmaca, distrito de Huamachuco, La Libertad, lugar dónde se ubica el área de potencial interés. Se tomarán muestras de 13 puntos, se uniformizarán y se obtendrá una muestra representativa, que se va a rotular para llevar a analizar al laboratorio. Las herramientas a usar serán:

- Bolsas de polietileno
- Saco
- Lampa
- Cinta métrica
- Plumón indeleble
- Guantes
- GPS
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de apuntes
- Hoja de registro

2.6 Métodos de análisis de datos

2.6.1 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk

Emplearemos esta prueba ya que nuestra muestra es pequeña ($n < 30$), nuestro $n = 9$, tres tratamientos con tres repeticiones cada una, de obtener un resultado $p < 0.05$, indicara que nuestros datos no siguen una distribución normal. Para obtener la normalidad de los datos usaremos el programa SPSS.

2.6.2 Diseño completamente al azar (DCA)

Emplearemos esta prueba basada en el análisis de varianza, donde nuestra varianza total se descompone en la varianza de los 3 tratamientos con diferentes porcentajes de humus (30%, 40% y 50%) y la varianza del error. Con el objetivo de identificar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos en la remoción de los metales pesados (Pb, Cd y As).

Nuestra hipótesis para este diseño completamente al azar. En un DCA nuestra hipótesis nula es que los efectos de los tratamientos son todos iguales en la remoción de los metales pesados plomo, cadmio y arsénico:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

H1: Existe al menos un efecto en el tratamiento que es diferente a los demás.

Para probar la hipótesis, compararemos los cuadrados medios de tratamientos respecto a los cuadrados medios del error, los primeros deben de ser lo suficientemente mayores que los segundos.

El nivel de significancia tiene que ser de un 0.05% lo que indica un 95% de seguridad, nuestro F tabular tiene que ser menor a nuestro F calculada, de ser así se rechaza la H0 hipótesis nula.

2.6.3 Método de Duncan

Usaremos este procedimiento para realizar comparaciones múltiples de medias, después de demostrar que la prueba F resulte significativa, entre ambas pruebas no pueden existir contradicciones en los resultados.

- ✓ Lo emplearemos para efectuar las comparaciones múltiples entre dos medias de los tratamientos (% de Humus) del experimento.
- ✓ Cuando el número de tratamientos es igual al número de repeticiones, los cálculos son más precisos que cuando se tiene un número diferente de repeticiones por tratamiento.

La prueba Duncan permite comparar tratamientos no relacionados, es decir todos los tratamientos contra todos a fin de establecer un orden de méritos.

2.7 Aspectos éticos

La aplicación del método de fitorremediación con la adición de enmiendas orgánicas, van a contribuir a la conservación al medio ambiente y mitigación en los impactos ambientales. Las teorías consideradas para este estudio, indican la orientación del desarrollo de proyecto, tomando en cuenta a la especie de *Juncus arcticus*, esta tiene la capacidad de remediar concentraciones de metales pesados en el suelo, por sus características y resistencia de crecimiento en suelos altamente contaminados, junto con las enmiendas orgánicas. Los usos de teorías están en base a repositorio de fuentes confiables, previamente citadas, respetando la autoría, con la finalidad de evitar indicios de plagios, garantizando que realización del proyecto de investigación es de nuestra autoría.

III. RESULTADOS

Tras la aplicación del método de ensayo con ICP-OES, en el laboratorio de procesamiento de minerales de la U.N.T., en la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis inicial de metales pesados en suelos contaminados del distrito de Huamachuco:

TABLA 4: Resultados de pre-prueba de metales pesados en el suelo contaminado

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

Elemento	Cu	Fe	Zn	Pb	Sb	As	Cd	Co
Unidades	%	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Suelo	0.05	1.97	0.02	142	ND	433.08	11.42	ND

En la tabla 4, observamos que los elementos que se encuentran en mayor concentración en el suelo son: Plomo, Cadmio y Arsénico, siendo este último el elemento que se encuentra en mayor concentración.

De la misma manera, en la tabla 5 se presentan los resultados del análisis de humedad, los cuales realizamos en el laboratorio de Biotecnología Ambiental de la U.C.V. mediante el método directo gravimétrico:

TABLA 5: Resultados de humedad inicial del suelo y humus

Tipo de muestra	Muestra seca (gramos)	% Humedad
Humus ^a	38.3	61.7
Suelo ^b	92.8	7.2
Mezcla ^{a+b}	65.8	31.2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 5, se trabajó con 100 gramos de muestra, donde se observa que el humus tiene el mayor porcentaje de humedad que el suelo y la mezcla.

En la tabla 6 se presentan los resultados del análisis de pH y conductividad eléctrica, los cuales se realizaron en el laboratorio de Biotecnología ambiental de la U.C.V.

TABLA 6: Resultados iniciales de análisis físicos y químicos

Análisis	pH	Conductividad (mS/cm)
Humus ^a	7.26	22.2
Suelo ^b	8.13	4.32
Mezcla ^{a+b}	7.6	25.2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla podemos observar que el pH de la mezcla no es adecuado para el crecimiento de la planta, pues para su normal desarrollo es necesario un pH ácido o neutro; esto nos indica que necesitamos acondicionar el pH en cada uno de nuestros tratamientos. Por otro lado, la conductividad de la mezcla pone de manifiesto que es la adecuada para el crecimiento de esta especie (*Juncus arcticus*)

TABLA 7: Resultados de pos-prueba de metales pesados en el suelo contaminado

Metales Pesados	Porcentaje de Humus Orgánico											
	30%				40%				50%			
	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}	R1	R2	R3	\bar{x}
Pb (ppm)	108.8	103.95	101.4	104.72	125.96	125.87	131.38	127.74	100.55	91.74	83.49	91.93
Cd (ppm)	4.97	4.15	4.09	4.40	4.41	4.77	4.27	4.48	3.04	4.04	4.29	3.79
As (ppm)	315.48	293.39	333.64	314.17	314.11	318.22	307.29	313.21	275.44	319.01	315.09	303.18

*R1, R2 Y R3: Repetición 1, Repetición 2 y Repetición 3.

\bar{x} : Promedio

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 7 se muestran los resultados finales de la concentración de plomo, cadmio y arsénico en partes por millón, luego de aplicar el tratamiento con 30%, 40% y 50% de humus orgánico con el uso de la especie remediadora (*Juncus arcticus*) con sus tres repeticiones, empleando el método de ensayo ICP-OES.

TABLA 8: Resultados del porcentaje de remoción (Pb)

Humus	Porcentaje de remoción de Plomo			
	R1	R2	R3	\bar{x}
30%	23,4	26,8	28,6	26.3
40%	11,3	11,4	10,3	11
50%	29,2	35,4	41,2	35.3

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla se muestra el porcentaje de remoción de plomo, luego de haber procesado los resultados iniciales con los finales, tras la aplicación de los tratamientos (30%, 40% y 50%) con humus orgánico y el uso de la especie remediadora.

TABLA 9: Prueba de normalidad Shapiro Wilk (Pb)

Tratamiento de Humus	Remoción de Plomo		
	30%	40%	50%
Sig.	,664	,157	,963

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 9 se comprueba que los datos obtenidos para los tres tratamientos (30%,40% y 50%) siguen una distribución normal, la significancia es superior al 0,05. Para determinar ello usamos la prueba estadística Shapiro Wilk, en el anexo 6 se detallan los resultados de dicha prueba.

TABLA 10: Prueba de igualdad de Levene (Pb)

F	df1	df2	Sig.
2,240	2	6	,188

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 10, se observa que la significancia es mayor al 0,05. Por esto, existe igualdad de varianza de los tratamientos.

TABLA 11: Prueba análisis de varianza (Pb)

Porcentaje Remoción Pb			Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	(Combinado)		451,471	31,239	0,001
	Término lineal	Contraste	121,500		
		Desviación	781,442		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla observamos que el valor estadístico de significancia $0,001 < 0,05$, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula de igualdad de medias, aceptando la

hipótesis alternativa de que por lo menos uno de los tratamientos difiere de los demás para la remoción en porcentaje de Pb.

TABLA 12: Prueba de Duncan (Pb)

Remoción de Plomo				
Tratamiento con Humus		Subconjunto		
		1	2	3
Duncan	40%	110,000		
	30%		262,667	
	50%			352,667

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla se identificamos el mejor tratamiento, mediante el uso del Método de Duncan para la remoción de plomo.

TABLA 13: Resultados del porcentaje de remoción (Cd)

Humus	Porcentaje de remoción de Cadmio			
	R1	R2	R3	\bar{x}
30%	56,5	63,7	64,2	61.5
40%	61,4	58,2	62,6	60.7
50%	73,4	64,6	62,4	66.8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 13, se presenta el porcentaje de remoción del cadmio, tras haber obtenido los resultados iniciales con los finales y luego de haberse aplicado los tratamientos (30%, 40% y 50%) con humus orgánico y el uso de la especie remediadora.

TABLA 14: Prueba de normalidad Shapiro Wilk (Cd)

	Remoción de Cadmio		
Tratamiento de Humus	30%	40%	50%
Sig.	,111	,510	,363

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En dicha tabla, se demuestra la normalidad de datos obtenidos para el cadmio, usando la prueba estadística de Shapiro Wilk, con un nivel de significancia del 95%. En el Anexo 8 se detallan los resultados de dicha prueba.

TABLA 15: Prueba de igualdad de Levene (Cd)

F	df1	df2	Sig.
2,133	2	6	,200

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 15, se observa que la significancia es mayor al 0,05. Por lo tanto, hay igualdad de varianza de los tratamientos.

TABLA 16: Prueba análisis de varianza (Cd)

porcentaje Remoción Cd		Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	(Combinado)	32,893	1,713	0,258
	Término lineal	Contraste	42,667	
		Desviación	23,120	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla observamos que el valor estadístico de significancia $0,258 > 0,05$, por lo tanto, no hay diferencias en los tratamientos para la remoción de Cd.

TABLA 17: Prueba de Duncan (Cd)

Remoción de Cadmio		
	Tratamiento con Humus	Subconjunto 1
Duncan	40%	607,333
	30%	614,667
	50%	668,000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 17, observamos que los tres tratamientos pertenecen al mismo subconjunto, por lo tanto, todos ellos tienen el mismo nivel de eficacia para la remoción de Cadmio, usando el método Duncan.

TABLA 18: Resultados del porcentaje de remoción (As)

Humus	Porcentaje de remoción de Arsénico			
	R1	R2	R3	\bar{x}
30%	27,2	32,3	23,0	27.5
40%	27,5	26,5	29,0	27.7
50%	36,4	26,3	27,2	30

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla se expone el porcentaje de remoción del arsénico, luego de aplicar los tratamientos con de humus orgánico y con el uso de la especie de **Juncus arcticus**.

TABLA 19: Prueba de normalidad Shapiro Wilk (As)

Tratamiento de Humus	Remoción de Arsénico		
	30%	40%	50%
Sig.	,893	,780	,154

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 19, se comprueba la normalidad de datos obtenidos para el Arsénico, usando la prueba estadística de Shapiro Wilk, con un nivel de significancia del 95%. En el Anexo 10 se detallan los resultados de dicha prueba.

TABLA 20: Prueba de igualdad de Levene (As)

F	df1	df2	Sig.
2,614	2	6	,153

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En esta tabla, se observa que la significancia es mayor al 0,05. Por esto, hay igualdad de varianza de los tratamientos.

TABLA 21: Prueba análisis de varianza (As)

porcentaje Remoción As		Media cuadrática	F	Sig.	
Entre grupos	(Combinado)	5,701	,314	0,742	
	Término lineal	Contraste	9,127		
		Desviación	2,276		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 24 observamos que el valor estadístico de significancia $0,742 > 0,05$, por lo tanto, no hay diferencias en los tratamientos para la remoción de Cd.

TABLA 22: Prueba de Duncan (As)

Remoción de Arsénico		
	Tratamiento con Humus	Subconjunto
		1
Duncan	30%	275,000
	40%	276,667
	50%	299,667

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

En la tabla 22, observamos que los tres tratamientos pertenecen al mismo subconjunto, por lo tanto, todos ellos tienen el mismo nivel de eficacia para la remoción de Arsénico, usando el método Duncan.

IV. DISCUSIÓN

- A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis nula general ya que la especie *Juncus arcticus* y la incorporación de enmienda orgánica no alcanza los estándares de calidad ambiental para suelo, pero es notable la disminución de la concentración de los elementos Pb, Cd y As. Ese resultado se obtiene en un periodo de un mes y medio de tratamiento, por ello sería conveniente realizar los análisis en diferentes tiempos para poder conocer la eficacia de los tratamientos.
- Como se puede observar en la Tabla 4, y en comparación con el Anexo 1: Estándares

de Calidad Ambiental para suelo agrícola, notamos que tres de los elementos sobrepasan lo establecido; pues la cantidad de plomo es alta (142 ppm), superando lo establecido en la normativa (70 ppm); por otro lado, la cantidad de arsénico fue de 433.08 ppm que excede al valor de 50 ppm y sucede lo mismo con el elemento Cadmio que tiene presencia elevada (11.42 ppm) que excede el valor de 1.4 ppm. La elevada concentración de metales se debe a la actividad minera informal del lugar de estudio, que en temporadas de grandes precipitaciones, las aguas discurren por los relaves mineros debido a la pendiente, contaminando suelos agrícolas, ríos; la Gerencia Regional de Agricultura señala que se han perdido más de 150 Ha. de tierras de cultivo (AURAZO, 2017).

- En la Tabla 5, se expone el porcentaje de humedad en el humus orgánico con 61.7%, esta cantidad es alta debido a que la enmienda tiene la capacidad de retención de agua (NARVÁEZ, 2017). El suelo contaminado con 7.2% y la mezcla de ambos con 31.2% de Humedad. Si el porcentaje de humedad hubiera sido muy bajo, el crecimiento y desarrollo de las especies no hubiera sido el adecuado, pero al mezclarse con el humus mejoró. También se estableció un riego constante de las macetas de tres veces por semana con 0.3 litros de agua corriente.
- En la Tabla 6, se obtuvieron los resultados de pH y conductividad eléctrica, donde el pH de 7.6 en la mezcla de humus más suelo indica que es ligeramente alcalino. Sin embargo, para el desarrollo adecuado de la planta, el suelo debe tener un pH neutro o ácido (PÉREZ, 2013); para ello, se acondicionó el pH con ácido fosfórico a través del riego. Respecto a la conductividad eléctrica, la mezcla de humus más suelo inicial fue de 25.2 mS/cm, según la escala de salinidad tenemos a que el suelo no es salino y el desarrollo de las plantas no van a ser influenciadas por la baja concentración de sales presentes en el suelo (INFOAGRO, 2018).
- En la Tabla 7, se muestran los resultados finales de concentración de metales pesados tras la aplicación de tratamientos con diferentes porcentajes de enmienda orgánica y usando la especie remediadora (*Juncus arcticus*), pues se ha demostrado que las plantas son capaces de acumular y tolerar los metales tóxicos que no pueden degradarse (CARRILLO, 2015). El plomo, el cadmio y el arsénico disminuyeron la concentración de metales pesados, pero no fue muy significativo. Sin embargo, al aplicar los tratamientos, se sigue excediendo los estándares de calidad para suelo agrícola que establece el MINAM.

- En la Tabla 8, se observan los porcentajes de remoción de Pb, para los tres tratamientos con humus orgánico (30%,40% y 50%), el mayor porcentaje de remoción de Pb es de 41,2% en la tercera repetición del tratamiento con un 50% de humus indicando que a mayor porcentaje de humus, mayor remoción de Pb; en la Tabla 12, se observan los porcentajes de remoción de Cd, para los tres tratamientos con humus orgánico, el mayor porcentaje de remoción de Cd es de 73,4% en la primera repetición del tratamiento con un 50% de humus. Finalmente, en la Tabla 16, se muestran los porcentajes de remoción de As, para los tres tratamientos con humus orgánico, el mayor porcentaje de remoción de As es de 36,4% en la primera repetición del tratamiento con un 50% de humus. Estos resultados coinciden con otra tesis desarrollada en Ancash, indicando que el *Juncus arcticus* es más eficiente removiendo en mayor porcentaje al cadmio (MEDINA, 2014).
- En la Tabla 9, realizamos la prueba de Shapiro Wilk para verificar la normalidad de los datos de remoción de plomo, mediante el uso del software SPSS. Donde se verifica que los datos obtenidos cumplen una distribución normal. Para así poder continuar con la siguiente parte del análisis estadístico la prueba de Levene presentada en la tabla 10, que corrobora también la normalidad de los datos obtenidos.
- En la tabla 11, descartamos la hipótesis nula de la igualdad de medias, con lo cual podemos evidenciar que alguno de los tratamientos difiere del resto, procedemos a identificar cual es dicho tratamiento usando la prueba Duncan, el tratamiento en el que usamos 50% de Humus orgánico es que nos da mejores resultados tabla 12.
- En la Tabla 14, realizamos la prueba de Shapiro Wilk para verificar la normalidad de los datos de remoción de Cadmio, mediante el uso del software SPSS. Donde se verifica que los datos obtenidos cumplen una distribución normal. Para así poder continuar con la siguiente parte del análisis estadístico la prueba de Levene presentada en la tabla 15, que corrobora también la normalidad de los datos obtenidos con una significancia de 0,2 el cual es mayor al 0,05 (Anexo 8).
- En la Tabla 17, después de aplicar la prueba de Duncan podemos observar que todos los tratamientos poseen una capacidad similar para la remoción de Cd. Por ello al trabajar con un 30 % de Humus orgánico ahorraríamos costos si decidiéramos remover el cadmio del suelo contaminado.

- En la Tabla 19, tras aplicar la prueba de Shapiro Wilk, se presentan los resultados de la normalidad de los datos obtenidos para cada porcentaje de humus empleado en la remoción de As, arrojando un valor superior a 0,05 donde se muestra una distribución normal de los datos obtenidos (Anexo 10).
- En la Tabla 20, la prueba de igualdad de Levene para el As indica que la varianza es constante por tener una significancia mayor a 0,05.
- En la tabla 22, luego de aplicar la prueba de Duncan podemos observar que todos los tratamientos poseen una capacidad similar para la remoción de Cd. Por ello al trabajar con un 30 % de Humus orgánico ahorraríamos costos si decidiéramos remover el Arsénico del suelo contaminado.

V. CONCLUSIONES

Después de la realización de la presente investigación, se concluye que:

- Se logró evaluar la especie *Juncus arcticus* y la incorporación de humus orgánico para la remoción de metales pesados Pb, Cd y As en suelos contaminados, obteniendo un resultado de mayor remoción para Cd con el tratamiento de 30% de humus orgánico, de igual manera para el As y con un 50% para el Pb.
- Se realizaron los análisis iniciales de humedad para determinar el riego y la cantidad de agua adecuada. También se realizó el análisis inicial de pH y conductividad eléctrica, donde se tuvo que adaptar el pH a ácido para obtener mejores resultados de remoción de metales pesados en los suelos contaminados de Huamachuco.
- Los resultados obtenidos para la remoción de los metales pesados (Pb, As y Cd) no alcanzan los estándares de calidad ambiental para el suelo, pero es evidente el gran porcentaje de remoción que alcanzan los tratamientos aplicados.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda probar los tratamientos con otros intervalos de tiempo mayores a un mes y medio.
- Se recomienda realizar la parte experimental en condiciones de invernadero similares al clima original de la especie.
- Sería más recomendable realizar un análisis bromatológico de las especies, para conocer en qué parte de la planta (parte aérea o raíz) se concentraron los metales pesados.
- Es recomendable aplicar los tratamientos con un periodo de tiempo más extendido, para que las especies puedan desarrollarse más y así lograr una mayor remoción.

VII. REFERENCIAS

- ARGOTA, G. (et-al). “Coeficientes Biológicos De Fitorremediación De Suelos Expuestos a Plomo y Cadmio utilizando *Alopecurus Magellanicus Bracteatus* Y *Muhlenbergia Angustata* (Poaceae)”, Puno, 2012.
- ASMAT, Lizarbe (et-al) Optimización del crecimiento de *helianthus annuus* L. (girasol) para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves minero artesanal del caserío de Zarumilla. Pataz, 2013. 60 p.
- AURAZO, Johnny. Los estragos del Toro. Minería ilegal en la Libertad: los estragos de El Toro. Lima, 2017.
- BARRENECHEA, Ada. Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua. 2009. 3 p.
- CARRILLO, Gerardo (et-al). La fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. México, 2015. 1-6 p.
- CHÁVEZ, Luciana. Fitorremediación Con Especies Nativas En Suelos Contaminados Por Plomo. Trabajo de titulación. Lima, 2014.

- Decreto Supremo N°011-2017-MINAM. República del Perú, Lima, 2 de Diciembre de 2017.
- DIGFINEART. Partes aéreas de la Planta. [En línea] 2018. Disponible en:
<http://www.digfineart.com/06bPDVWbl/>
- DURÁN, Margarita. Organografía Vegetal. México, 2012. 3-8 p.
- FABELO, José. Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados. Revista centro azúcar (44): 54-59,2017.
- GONZÁLES, Carmen. Monitoreo de calidad de agua, el pH. [En línea] 2011. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-862/maguaph.pdf>
- HANAN, ANA. *Juncus arcticus*. [En línea] 2017. Disponible en: <http://www.naturalista.mx/taxa/148937-Juncus-arcticus>
- HERNÁNDEZ, Fernando. Agrotecnología Tropical. Disponible en: http://www.agro-tecnologia-tropical.com/densidad_de_siembra.html
- INFANTE, Said. (et-al). Uso de leguminosas (Fabaceae) en Fitorremediación. Revista Agroproductividad. (10): 3-34. 2017.
- INFOAGRO. Conductividad eléctrica y salinidad en suelos agrícolas. [En línea]. 2018. Disponible en: <https://infoagro.com/mexico/conductividad-electrica-y-salinidad-en-suelos-agricolas/>
- JARA, E. (et-al) “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados”. Revista peruana de biología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2014)
- Kayak. Partes aéreas de una planta. [En línea]. 2018. Disponible en: <http://www.digfineart.com/06bPDVWbl/>.
- MINAM. Guía para muestreo de Suelos. República del Perú, Lima, 2013.
- MENTABERRY, Alejandro. Fitorremediación. Buenos Aires, 2011. 1-12 p.
- MEDINA, Marcos. (et-al). “Determinación del factor de bioconcentración y translocación de metales pesados en el *Juncus arcticus Willd.* y *Cortaderia*

rudiuscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013”. Trabajo de titulación. Huaraz, 2014.

- Mendoza, Henry. (et-al). Diseño Experimental. Universidad Nacional de Colombia. [En línea] 2002. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/>
- Muqui. La realidad del cerro El Toro. [En línea] Huamachuco. 2017. Disponible en: <http://www.muqui.org/comunicaciones/noticias/item/285-la-realidad-del-cerro-el-toro-huamachuco>
- NARVÁEZ, Fabián. Humus de Lombriz. [En línea] Chile. 2017. Disponible en: <http://feriasaraucania.cl/UserFiles/File/humus.pdf>
- Ley General del Ambiente N° 28611. República del Perú, Lima, 15 de octubre de 2005.
- PÉREZ, Micaela. Tipos de Juncus. [En línea] 2013. Disponible en: <http://www.botanicayjardines.com/juncus-effusus/>
- RODRÍGUEZ, Mario. Prueba de Shapiro-Wilks. [En línea] 2011. Disponible en: http://riotorto.users.sourceforge.net/R/noparam_shapiro/
- SANABRIA, Doris. Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Colombia, 2006. 1-7 p.
- SEGURA, Luis. Coeficiente de Pearson. [En línea] 2017. Disponible en: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-el-coeficiente-de-Pearson>
- SOLÍS, David. La prueba de Kolmogorov-Smirnov. [En línea] 2015. Disponible en: <https://es.slideshare.net/dsolis/prueba-kolmogorovsmirnov>

ANEXOS

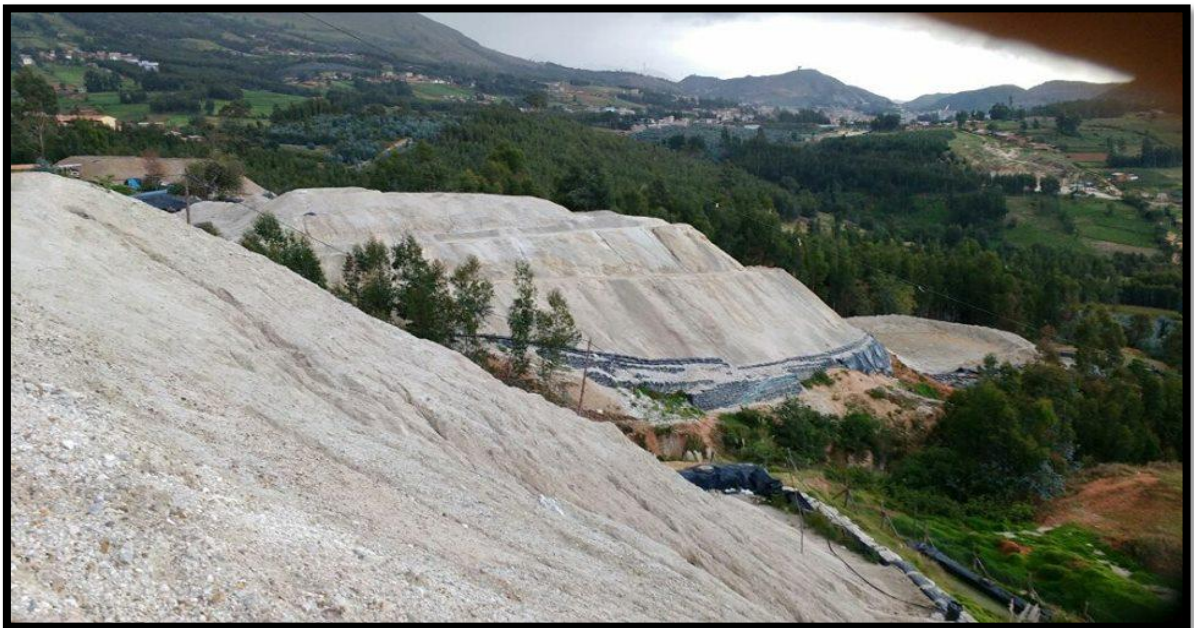
ANEXO 1: Estándares de Calidad Ambiental- suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(1) y (2)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁸⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 6 DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾

FUENTE: MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017

ANEXO 2: Fotografías de la visita a campo

Imagen N°01:



Fuente: Propia

Imagen N°02:



Fuente: Propia

Imagen N°03:



Fuente: Propia

Imagen N°04:



Fuente: Propia

Imagen N°05:



Fuente: Propia

Imagen N°06:



Fuente: Propia

ANEXO 3: Fotografías de pre-pruebas físicas y químicas en el laboratorio

Imagen N°01:



Imagen N°02:



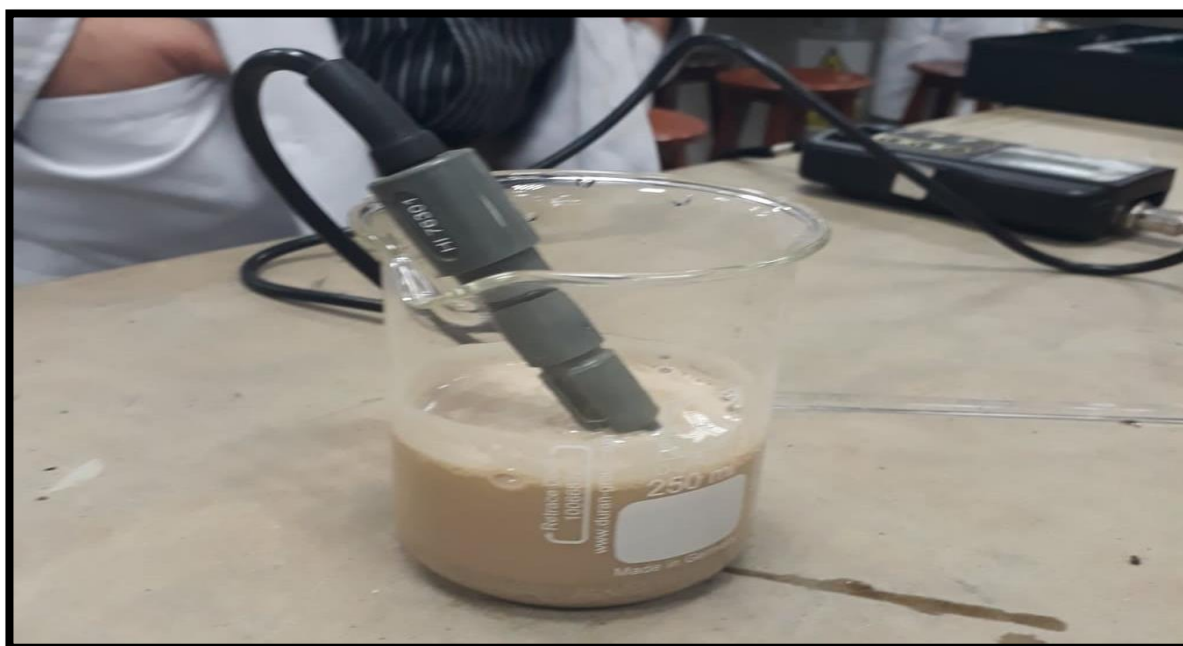
Fuente: Propia

Imagen N°03:



Fuente: Propia

Imagen N°04:



Fuente: Propia

Imagen N°05:



Fuente: Propia

ANEXO 4: Plantación de *Juncus arcticus* y homogenización de suelo contaminado y enmienda orgánica

Imagen N°01:



Imagen N°02:



Fuente: Propia

Imagen N°03:



Fuente: Propia

Imagen N°04:



Fuente: Propia

Imagen N°05:

Fuente: Propia



Fuente: Propia

ANEXO 5: Cantidad de Humus y suelo contaminado en gramos

$$P_T = S_c + H$$

P_T : Peso total
(1.5kg)

S_c : Suelo contaminado
 H : Humus

Tratamiento	Suelo contaminado (gramos)	Humus (gramos)
30%	1050	450
40%	900	600
50%	750	750

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

ANEXO 6: Prueba de normalidad del plomo

RemocionPb.p orcentaje	Tratami Humus	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	30%	,247	3	.	,969	3	,664
	40%	,356	3	.	,818	3	,157
	50%	,177	3	.	1,000	3	,963

ANEXO 7: Análisis de varianza del plomo

RemocionPb.porcentaje					
TratamiHumus		N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey	40%	3	11,0000		
	30%	3		26,2667	
	50%	3		35,2667	
	Sig.		1,000	,062	
Duncan	40%	3	11,0000		
	30%	3		26,2667	
	50%	3			35,2667
	Sig.		1,000	1,000	1,000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

ANEXO 8: Prueba de normalidad del cadmio

RemocionCd.p orcentaje	Tratami Humus	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	30%	,365	3	.	,798	3	,111
	40%	,282	3	.	,936	3	,510
	50%	,314	3	.	,893	3	,363

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

ANEXO 9: Análisis de varianza del cadmio

RemocionCd.porcentaje			
	TratamiHumus	N	Subconjunto
			1
HSD Tukey	40%	3	60,7333
	30%	3	61,4667
	50%	3	66,8000

	Sig.		,282
Duncan	40%	3	60,7333
	30%	3	61,4667
	50%	3	66,8000
	Sig.		,152

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

ANEXO 10: Prueba de normalidad del arsénico

TratamiHumus		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RemocionAs.p orcentaje	30%	,192	3	.	,997	3	,893
	40%	,219	3	.	,987	3	,780
	50%	,356	3	.	,816	3	,154

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

ANEXO 11: Análisis de varianza del arsénico

RemocionAs.porcentaje			
	TratamiHumus	N	Subconjunto
			1
HSD Tukey ^{a,b}	30%	3	27,5000
	40%	3	27,6667
	50%	3	29,9667
	Sig.		,768
Duncan ^{a,b}	30%	3	27,5000
	40%	3	27,6667
	50%	3	29,9667
	Sig.		,518

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

