

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

Asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica – 2019

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. María Isabel VARGAS PAUCAR

Asesor: Mg. Rosario Marcela VÁSQUEZ GARCÍA

Cerro de Pasco - Perú 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

Asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica – 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN
PRESIDENTE

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA
MIEMBRO

Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA
MIEMBRO

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

” La motivación es el empuje del éxito, es éxito es la plenitud de la vida; la vida no sería vida si no hubiera una familia”

Por ellos con cariño y gratitud dedico esta tesis a mis amados padres Wuilman Vargas y Teodora Paucar, quienes impulsan mi vida, me apoyan constantemente en mis éxitos personales y luchan a cada momento por mí, enseñándome el camino justo de la vida.

A mis hermanas Helen y Alejandra quienes con su calor humano me motivaron a estudiar con ahínco para culminar mi carrera profesional con felicidad.

A ti A. Q. por ejemplo de esfuerzo, por tus palabras y confianza, por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

Isabel Vargas Paucar

RESUMEN

El trabajo de investigación “**ASIMILACION Y EVALUACION DE Pb, Cd, Fe y Zn EN LOS RELAVES DE QUIULACOCHA UTILIZANDO PROCESOS DE COBERTURA BIOLÓGICA**” ha permitido plantearme ¿Cuál será la efectividad del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla como herramienta de asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en la rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha?? Para ello señalo que mi objetivo general fue medir la efectividad del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn para la rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha. Entre los métodos utilizados tenemos el método experimental para indicar los elementos físico químicos presentes en los suelos fitorremediados y el Método Analítico para explicar las dificultades que podrían tener las plantas y suelos analizados. El Diseño Cuasi Experimental fue el utilizado debido a que se tuvo Barril 01 (experimental), Barril 02 y 03 (de control). Las plantas utilizadas para este proceso han sido la Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla. Se ha demostrado: el análisis positivo de la tolerancia del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla para metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn. La bioestimulación que se dan para sustratos contaminados. La medición adecuada de la relación entre indicadores químicos y biológicos. La correcta medida de efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando el Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla. Los resultados para cada uno de ellos están indicados en la parte experimental. Asimismo, señalar que las técnicas y procedimientos ejecutados a lo largo del desarrollo de la tesis me han permitido mejorar la investigación en procesos de fitorremediación y el trabajo de campo como planes de cierre.

Palabras claves: relave minero, fitorremediación, bioestimulación

ABSTRAC

The research work "**ASSIMILATION AND EVALUATION OF Pb, Cd, Fe and Zn IN THE RELIEFS OF QUIULACOCHA USING BIOLOGICAL COVERAGE PROCESSES**" has allowed me to consider what will be the effectiveness of the Ichu and the Festuca as a tool for assimilation and evaluation of Pb, Cd , Fe and Zn in the rehabilitation of contaminated soils with mining tailings from Quiulacocha deposits? To this end, I indicate that my general objective was to measure the effectiveness of Stipa Ichu and Festuca Dolichophylla in the assimilation and evaluation of Pb, Cd, Fe and Zn for the rehabilitation of contaminated soils with mining tailings from Quiulacocha deposits. Among the methods used we have the experimental method to indicate the physical chemical elements present in phytoremediated soils and the Analytical Method to explain the difficulties that the plants and soils analyzed could have. The Quasi Experimental Design was the one used because it had Barrel 01 (experimental), Barrel 02 and 03 (control). The plants used for this process have been Stipa Ichu and Festuca Dolichophylla. It has been demonstrated: the positive analysis of the tolerance of Stipa Ichu and the Festuca Dolichophylla for heavy metals such as Pb, Cd, Fe and Zn. Biostimulation given for contaminated substrates. Proper measurement of the relationship between chemical and biological indicators. The correct measure of adsorption effectiveness of Pb, Cd, Fe and Zn using Stipa Ichu and Festuca Dolichophylla. The results for each of them are indicated in the experimental part. Also, note that the techniques and procedures executed throughout the development of the thesis have allowed me to improve research in phytoremediation processes and field work as closure plans.

Keywords: mining tailings, phytoremediation, biostimulation

INTRODUCCION

Uno de los problemas actuales que llama la atención de la comunidad en su conjunto es la contaminación ambiental, los daños en nuestro entorno y en la naturaleza misma, causando muchos desastres, por lo que es imprescindible que el ser humano tome conciencia de lo fundamental que es empezar a realizar acciones para un cambio. De este modo, la principal tarea a realizar es la generación de valores ecológicos, principios que rijan el actuar del hombre y lo conduzcan al desarrollo de acciones amigables con el medio ambiente.

Para ello la educación debe jugar un papel decisivo en la consecución de este objetivo, son los docentes, los que deben enarbolar una educación ambiental con valores que permitan una relación óptima entre el sujeto y la naturaleza. Son las instituciones educativas, cualquiera sea el nivel, las que deban cultivar en los estudiantes conductas que permitan el cuidado del ambiente y su valor trascendental.

Por ello la importancia de este trabajo de investigación en coordinación con los estudiantes del 5to año de nivel secundario del Colegio Gerardo Patiño López de Santa Ana de Tusi para poder realizar este trabajo. Esta institución, se encuentra ubicada a 2. Km de Cerro de Pasco, en la localidad de Alcacocha de nivel mixto y cuenta con una población total de 120 estudiantes.

Por todo lo anterior y preocupado por el problema ambiental existente, se emprende éste proyecto con miras a contribuir en la formación, prevención, toma de conciencia y aplicabilidad de actitudes que conlleven a mejorar el entorno de la

institución educativa, a través de la pregunta problema: **¿Es posible, que se pueda entender la problemática ambiental en la localidad de Santa Ana de Tusi, utilizando como estrategia pedagógica el manejo adecuado de una Piscigranja generando en el estudiante juicio crítico y autocrítico?**

El presente trabajo se justifica en la necesidad de establecer valores, costumbres y acciones que permitan la conservación del medio ambiente, y con ello, la conservación de la vida de los seres que habitan su entorno, intentando superar la realidad de la comunidad escolar de la Institución Educativa, que presenta deficiencias en la construcción de valores ambientales, debido a que se evidencia en ellos poco amor y conocimiento por la conservación y sostenibilidad de su entorno, donde no existe un equilibrio, o armonía, entre la comunidad y el medio en el que ésta se encuentra inmersa.

El siguiente proyecto se soporta en la necesidad de lograr, a través de un crecimiento en valores, actitudes y comportamientos, una mejor relación entre ciudadanía y medio ambiente, en el propósito de alcanzar mejores niveles de vida, que permitan ayudar a los educandos a construir un conjunto de hábitos y preocupaciones por el ambiente, motivando la participación activa en el mejoramiento y protección del mismo, utilizando una propuesta pedagógica que promuevan el desarrollo de la conciencia, permitiendo así redimensionar sus relaciones con el medio ambiente.

Terminamos diciendo que uno de los objetivos de la educación ambiental es que los individuos y las comunidades deben comprender la complejidad del

ambiente natural y la interacción de los factores biológicos, físico-químicos, sociales, económicos, políticos y culturales para que se adquirieran los conocimientos, valores, actitudes, destrezas y habilidades que les permitan participar de manera responsable, ética, afectiva en la previsión de la problemática en los cambios climáticos; desde esta perspectiva la educación ambiental contribuirá a desarrollar el sentido de responsabilidad y solidaridad.

La presente tesis estudia: “**ASIMILACION Y EVALUACION DE Pb, Cd, Fe y Zn EN LOS RELAVES DE QUIULACOCHA UTILIZANDO PROCESOS DE COBERTURA BIOLÓGICA – 2019**”; cuya estructura se detalla:

CAPITULO I: Identificación y determinación del Problema, Delimitación del problema, Formulación del problema, Formulación de objetivos, Justificación y Limitaciones de la Investigación.

CAPITULO II: Antecedentes del Estudio, Bases Teóricas Científicas, Definición de Términos Básicos, Formulación de Hipótesis, Identificación de variables y definición operacional de variables e indicadores.

CAPITULO III: Tipo de Investigación, Métodos de Investigación, Diseño de Investigación Población y Muestra, Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos, Técnicas de procesamiento y análisis de datos, Tratamiento estadístico, Orientación ética.

CAPITULO IV: Descripción del trabajo de campo, Presentación análisis e interpretación de los Resultados, Prueba de Hipótesis, Discusión de resultados.

Finalmente, las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y anexos.

INDICE

DEDICATORIA.....	I
RESUMEN	II
ABSTRAC	III
INTRODUCCION	IV
INDICE	VIII
CAPITULO I	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.Planteamiento del problema.....	1
1.2.Delimitación de la investigación.....	5
1.3.Formulación del problema.....	5
1.3.1. Problema general.....	5
1.3.2. <i>Problemas específicos</i>	5
1.4.Formulación de objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5.Justificación del problema.....	6
1.6.Limitaciones de la investigación.....	7
CAPITULO II	9
MARCO TEORICO	9
2.1 Antecedentes del estudio.....	9
2.2 Bases teóricas.....	17
2.3 Definición de términos.....	31
2.4 Formulación de hipótesis.....	37
2.4.1 Hipótesis general.....	37

2.4.2 Hipótesis específicas	38
2.5 Identificación de variables.....	38
2.6 Definición operacional de variables e indicadores	39
CAPITULO III	40
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.1. Tipo de investigación	40
3.2. Método de investigación.....	40
3.3. Diseño de la investigación	41
3.4. Población y muestra	41
3.5. Técnicas de instrumentos de recolección de datos.....	41
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	43
3.7. Tratamiento estadístico	43
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	43
3.9. Orientación ética	44
CAPITULO IV	45
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1. Descripción del trabajo de campo	45
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	70
4.3. Prueba de hipótesis	94
4.4. Discusión de resultados	97
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFIA.....	108
ANEXOS.....	110

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La historia no es reciente, en el año 1900 llega la Cerro de Pasco Cooper Corporación, empresa norteamericana que inicia el arrojado de relave minero a la laguna de Quiulacocha e iniciando con ello su desaparición y el éxodo de especies de aves y roedores, así como la muerte de truchas y ranas...esto dura hasta el año 1976.

Luego de la nacionalización de empresas durante el gobierno militar, aparece CENTROMIN PERÚ, que, con una vorágine bestial, explota a tajo abierto el mineral cerreño destruyendo a la “Ciudad Real de Minas” y dejando como triste recuerdo un inmenso forado y cerros artificiales de desmonte

minero, dañando los ojos de agua de Champamarca y destruyendo la pequeña quebrada de Excelsior.

En setiembre de 1999, Volcan Cía. Minera, adquiere la unidad económica y productiva minera de Paragsha, explotando hasta la actualidad el Tajo Abierto “Raúl Rojas” y las minas del entorno, con la amenaza de desaparecer la antigua ciudad del Cerro de Pasco y los barrios añejos de Ayapoto y Champamarca, así como ampliar la relavera de Ocroyoc y continuar con la construcción de una planta para “tratar material oxidado” en el Cerro Shuco.

Todo este proceso de avance minero y destrucción de los recursos de las comunidades bolivarianas, lamentablemente tuvo y cuenta con el aval del Estado peruano, aduciendo que la minería es una “actividad productiva estratégica”, desconociendo la normatividad ambiental y sin contar con la opinión de los propios campesinos propietarios de los terrenos y recursos dañados.

Bajo estas circunstancias viven las poblaciones Champamarquinas, Paragshinas, Quiulacochanas y Bolivarianas en general. Sin embargo, hay otro escenario casi invisible, el organismo humano; con retardo en el crecimiento, poca asimilación de los nutrientes alimenticios, bajo peso, anemia, disminución de la capacidad intelectual, pérdida de memoria y retardo mental. Niños y mujeres, con alto índice de plomo en la sangre.

Un estudio hecho por la ONG “**Red Muqui**” a través del médico especializado Fernando Osoreo Plenge, en el laboratorio del Centro de

Toxicología del Instituto de Salud Pública de Québec en Canadá entre setiembre y octubre del 2016; para menores cuyas edades oscilan entre los 3 a 15 años; demostró que, al hacer el análisis de los cuatro metales pesados (arsénico, plomo, mercurio y cadmio) **dos de ellos señalados en mi** proyecto de investigación, que estaban presentes en sangre, orina y cabello generando como conclusión final que **los chicos estaban altamente contaminados.**

Los menores de edad que fueron parte del análisis médico pertenecían a dos ciudades caracterizadas por su tradicional producción minera. Se seleccionaron a 15 menores del Centro Poblado de Quiulacocha en la ciudad de Cerro de Pasco, región de Pasco; y a 09 niños localizados en La Oroya (entre la Antigua y la Nueva), en la región de Junín.

Respecto a Cerro de Pasco las fuentes de emanación de los metales pesados provienen de depósitos de relaves mineros sin algún tipo de protección entre los que destaca el de Quiulacocha de una extensión de 115 hectáreas. Además de existir una laguna ácida del mismo nombre de la relavera Ocroyoc en el distrito de Simón Bolívar.

Un del Ministerio de Energía y Minas presentado en el 2018, revela que son 850 los pasivos ambientales mineros que existen en el país, 133 pasivos se encuentran en Ancash, 79 en Puno, 69 en Ayacucho, 67 en Huancavelica, 60 en Lima, 53 en Moquegua, 51 en Junín, 44 en Cusco, 43 en Apurímac, 42 en Arequipa, **40 en Pasco**, 32 en Tacna, 31 en Ica, 23 en Huánuco, 22 en Madre de Dios, 20 en Cajamarca, 18 en Piura, 14 en La Libertad, 08 en Lambayeque y 01 en San Martín.

La Legislación peruana D.S. N° 059-2005-EM del 09 de diciembre del 2005, Reglamento de Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, señalando que una de las formas de recuperar áreas contaminadas por la minería es a través de la remediación.

El depósito de relaves Quiulacocha, es un pasivo ambiental minero situado a una altitud promedio de 4 300 msnm en el departamento de Pasco, provincia de Pasco y distrito de Simón Bolívar. Se ubica a una distancia aproximada de 130 km al norte de La Oroya y a 310 km de la capital del Perú, Lima. Hacia el noreste se encuentra contiguo el pasivo ambiental depósito de desmonte (DDM) Excélsior. Ambos pasivos se encuentran bajo responsabilidad del Estado a través de Activos Mineros S.A.C (en adelante, AMSAC).

El 30 de noviembre de 2017, se dio el consentimiento de Buena Pro a Consorcio WSP (en adelante, WSP) para la elaboración del plan de cierre de detalle del depósito de relaves (DR) Quiulacocha; el cual incluye la elaboración de estudios de base entre los que se encuentra la instalación de las pruebas de barril para las diferentes potenciales coberturas de estabilización a ser aplicables en el cierre del componente.

Trabajaré con los depósitos de relaves de Quiulacocha, utilizando para ello plantas fitorremediadoras como son el *Stipa Ichu* y la *Festuca Dolichophylla*.

Para ello, aplicaré procesos de operación de las pruebas de barril, y de esta manera, obtener periodos de adaptación de las especies vegetales a las

condiciones de trabajo y que puedan posteriormente analizar su **Asimilación y Evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn** en dichas plantas.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación Temporal

Periodo de 1 año, desde octubre de 2018 a setiembre de 2019

1.2.2. Delimitación Espacial

Relavera Quiulacocha – Distrito de Simón de Bolívar – Provincia de Pasco – Departamento de Pasco

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál será la efectividad del Stipa Ichu y la Festuca como herramienta de asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en la rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es la tolerancia del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en sustratos contaminados con relaves mineros?
2. ¿Cuáles son los efectos combinados de la bioestimulación y la adición de nutrientes en la fitorremediación?
3. ¿Cuál es la relación que se puede establecer entre indicadores químicos y biológicos para la degradación de los relaves mineros?

4. ¿Cuál será la efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando plantas fitorremediadoras como el Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en técnicas de rehabilitación ambiental?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Medir la efectividad del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn para la rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la tolerancia Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en procesos de asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn para sustratos contaminados con relaves mineros
2. Analizar los efectos de bioestimulación para sustratos contaminados y la adición de nutrientes en procesos de fitorremediación
3. Medir la relación entre indicadores químicos y biológicos utilizados en la degradación de los relaves mineros
4. Medir la efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando plantas fitorremediadoras como del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en técnicas de rehabilitación ambiental

1.5. Justificación del problema

1.5.1. En lo teórico

El proyecto de investigación, encuentra su justificación en el ámbito del Impacto ambiental que tiene la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros que hay en Quiulacocha; utilizando para ello 02 especies vegetales; como son el Ichu y la Festuca Dolichophylla, aportando nuevos conceptos para la ciencia y la investigación.

1.5.2. En la práctica

La presente Investigación se justifica con la aplicación de nuevas técnicas de fitorremediación, como son el uso de barriles y la utilización de plantas fitorremediadoras para evaluar metales pesados presente en suelos contaminados

1.5.3. Metodológica

La presente Investigación, encuentra su justificación metodológica, en el empleo de técnicas cuantitativas (Cuadros Estadísticos: Figuras, Tablas); análisis físico químico para la evaluación de metales presentes en relaves mineros, plantas, etc. los cuales constituyen herramientas, para realizar el análisis cualitativo de la causalidad y efecto, entre las variables existentes del tema, materia de la Investigación.

1.6. Limitaciones de la investigación.

- **Obtención de las entrevistas:** considero que la mayor dificultad es el alto costo y esfuerzo para conseguir las entrevistas con los diferentes

actores presentes en la planta de Quiulacocha y evaluar los relaves mineros que generan alta contaminación en la población.

- **Otras dificultades serán:** los costos que se puedan generaren el análisis con equipos de alta gama entre otros.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Antecedentes internacionales

LOBOS CHAMORRO, María José (2008) realizó la investigación titulada Efectividad de Biosólidos para la Fitoestabilización de un Tranque de Relaves Mineros, en la Comuna de Nogales para optar el Título de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. El estudio tiene como objetivo general evaluar la efectividad de los Biosólidos para mejorar las características químicas, microbiológicas y de enraizamiento vegetal en un tranque de relaves de Cobre de la Región de Valparaíso sometido a un programa de rehabilitación por Fitoestabilización, entregando

además información complementaria sobre el desarrollo de la vegetación utilizada. De esta forma la aplicación de Biosólidos y/o de suelo de escarpe en tranques de relaves forestados podría aportar en el mejoramiento de la sustentabilidad de los bosques plantados.

CALABRÁN TORO, Rodrigo Alejandro (2009) realizó la investigación sobre Evaluación de Riesgo Ambiental del Tranque de Relave las Tórtolas ubicado en la Comuna de Colina, Región Metropolitana de Santiago para optar al Título Profesional de Geógrafo. Universidad de Chile. Santiago. Chile. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo general realizar una caracterización del tranque de relave Las Tórtolas, ubicado en la comuna de Colina, según riesgo ambiental y como objetivos específicos: Describir y caracterizar los contaminantes presentes en el tranque de relave Las Tórtolas, identificar el potencial de migración de contaminantes del tranque de relave Las Tórtolas. Identificar los posibles receptores de los contaminantes emitidos por el tranque de relave Las Tórtolas y proponer algunas alternativas de mitigación, reparación o compensación dentro de los sectores más afectados en el caso que fuese necesario.

ZBINDENVELIZ Annelie Marlen (2011) realizó el estudio referente a Evaluación del Riego con Agua Clara de Relave Alta en Molibdeno y Sulfatos sobre la Calidad del Suelo y del Forraje, para optar el grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile. Chile. La investigación pretende evaluar el efecto del riego con agua

clara de relave, alta en Molibdeno y Sulfato, sobre la calidad química y biológica del suelo y sobre las concentraciones de Mo, S y Cu en el forraje de ballica (*Lolium perenne* L) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). El estudio fue realizado en la Hacienda Loncha, donde los cambios en las propiedades químicas del suelo, con agua clara de relaves, se evaluaron comparando las propiedades de dos suelos de la serie Quillamuta, regando con agua clara de relave y el otro sin riego, bajo pradera natural durante el mismo periodo de tiempo (sin riego). La autora arribó a las siguientes conclusiones: hay deterioro de la calidad química del suelo regado con agua clara de relave, que se manifiesta con un desbalance de nutrientes y aumento de la salinidad. Debido a sus constituyentes, el agua clara de relave utilizada en riego durante 15 a 20 años provocó un aumento de la contaminación del suelo y de su contenido de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio y Cloro solubles, Mo total, Mo soluble, K disponible y Cu y Mn extraíbles con DTPA. Debido al aumento de su contaminación, el suelo se transformó en un suelo levemente salino.

2.1.2 Antecedentes nacionales

ROJAS VILLANUEVA, Atilio Jesús (2007) realizó un estudio sobre Manejo Ambiental de Relaves – Disposición Subacuática, para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. La presente tesis evalúa la disposición de relaves en la relavera Nieve Ucro Nro.2 (superficie) y la

disposición de relaves en la laguna Caballococha (subacuático) que se encuentra dentro de la concesión de beneficio y ha sido usada en el pasado para disposición de relaves. Por lo tanto, el área de estudio ha sido fijada teniendo en cuenta, que el mayor impacto que debe considerarse es la calidad de agua de la laguna. Las Conclusiones más relevantes del estudio realizado son: Todas las muestras de relaves estudiadas son ricas en Azufre y son potenciales generadores de ácido, aunque afortunadamente, parecen no haber generado ninguna acidez neta hasta el momento. Todos los relaves y sedimento de la laguna tienen niveles elevados de As, Cd, Pb y Zn (excediendo los límites establecidos en las Guías Canadienses para remediar suelos de uso industrial). La disposición subacuática de relaves, en la laguna Caballococha, posibilita que ésta pueda retomar su estado ecológico productivo, una vez que las operaciones mineras hayan cesado, aunque el ecosistema final puede diferir en algo del original.

ANICAMA ACOSTA, Gerson Alfredo (2010) realizó la investigación titulada Estudio Experimental del Empleo de Materiales de Desecho de 43 Procesos Mineros en Aplicaciones Prácticas con Productos Cementicios. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Los objetivos del estudio son: Verificar, dentro de un grupo de 3 muestras de relave minero a través de ensayos experimentales la factibilidad del uso de los mismos en concreto. Proponer aplicaciones prácticas para el concreto encontrado; que

puedan usarse en poblaciones cercanas a las operaciones mineras. Las conclusiones más relevantes del estudio realizado son: Los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto. Los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el slump del concreto. En general al proponer reemplazos de cemento en mezclas de concreto, de manera indirecta estamos contribuyendo con nuestro medio ambiente ya que la producción de cemento es una de las más contaminantes por su consumo de combustibles fósiles y la liberación de CO₂.

HIDALGO CAMARENA, Prudencio; ESPINOZA TUMIALAN, Pablo; FIGUEROA TAUQUINO, Rafael (2010) realizaron un estudio sobre Ensayo de Adaptación de Especies Vegetales para la Cobertura Vegetal de los Relaves Mineros de la Planta Concentradora Santa Rosa de Jangas. Facultad de Ciencias del Ambiente. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mávalo. Ancash, Perú. El objetivo general es seleccionar, según los resultados de la presente investigación, las especies vegetales que mejor se adapten a las condiciones edáficas y ecológicas de la presa de relaves de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas. Concluyen planteando: El Kikuyo, especie perenne con características de alta tolerancia a condiciones extremas de clima (sequías y heladas) y suelos de baja fertilidad, es la especie que evidencia el mejor comportamiento en el área de ensayo, pues presenta el promedio más alto en cuanto a diámetro del tallo, el promedio más

alto en cuanto a cobertura de suelo y el promedio más bajo en profundidad de raíces y con una distribución lateral amplia. El ray grass, especie perenne con características de amplio rango de distribución térmica y altitudinal tolerante a condiciones extremas de sequías y heladas, es la especie que presenta los más altos atributos en: número de plantas por unidad de superficie y tamaño de planta; ocupa el segundo promedio más alto en asociación con el trébol en producción de biomasa, el segundo promedio más alto en cobertura de suelo y el segundo promedio más bajo en profundidad de raíces. El amor seco, especie precoz de carácter temporal no tolerante a condiciones de sequías y heladas, es la siguiente especie que en orden de prioridad presenta el más alto promedio en biomasa y profundidad de raíces, el segundo promedio más alto en diámetro de tallo y el tercer promedio más alto en número y tamaño de plantas. Por ser una especie pionera, se caracteriza por tener un ciclo de vida muy corto, periodo en el que logra su máximo desarrollo y madurez, luego del cual disemina sus semillas para dar paso a la siguiente regeneración; pero tiene la desventaja de mantener el suelo parcialmente expuesto a la acción negativa del agua y del viento en el periodo de estiaje. El anís silvestre es la siguiente especie que en orden de prioridad destaca en los siguientes atributos: ocupa el segundo promedio más alto en número, tamaño de plantas y profundidad de raíces, el penúltimo lugar en producción de biomasa, el último en desarrollar el diámetro de tallo y el

último en capacidad de cobertura de suelo. Asimismo, tiene la desventaja de ser una especie precoz de carácter temporal que al cumplir su periodo de vida deja el suelo parcialmente descubierto dejándolo a merced de la acción del agua y del viento. El trébol, especie perenne de un amplio rango de distribución térmica y altitudinal, es la penúltima que en orden de importancia evidencia los siguientes atributos: presenta el segundo promedio más alto en producción de biomasa (en asociación con el ray grass), el tercer promedio más alto en cobertura de suelo el cuarto promedio más alto en profundidad de raíces, el quinto promedio más alto en diámetro de tallo y el promedio más bajo en número y tamaño de plantas. En trabajos de revegetación siempre se le utiliza en asociación con el ray grass, dada su alta capacidad de fijar Nitrógeno atmosférico para mejorar la fertilidad del suelo. El diente de león, planta perenne de amplio rango de distribución térmica y altitudinal es la especie que en orden de prioridad ocupa el último lugar al presentar los atributos menos favorables como: el segundo promedio más alto en profundidad de raíces que pone en riesgo la estabilidad de la población de su especie debido a la toxicidad que representa el relave, el cuarto promedio más alto en diámetro de tallo, cobertura de suelo y tamaño de plantas, el segundo promedio más bajo en número de plantas y el promedio más bajo en producción de biomasa. Las especies materia de ensayo que presentan los mejores atributos para efectuar trabajos de remediación ambiental a través de

técnicas de revegetación o fitoestabilización, en orden de prioridad, son: el Kikuyo y el ray grass en asociación con trébol. Ambas son perennes y presentan un amplio rango de distribución térmica y altitudinal entre otras.

MALDONADO Amanda; LUQUE, Celestino; URQUIZO, Duvalier (2012) investigaron sobre la Biosorción de Plomo de Aguas Contaminadas utilizando *Pennisetum clandestinum* (KIKUYO). Dpto. de Ingeniería Química, Universidad San Antonio Abad del Cusco, Cusco. Perú. Publicada por la Rev. Latín Am. Metal. Mat. 2012; S4: 52-57. Se planteó como objetivo general investigar la capacidad del Kikuyo, para remover Pb (II) de soluciones de aguas contaminadas. Se investigó la remoción de Plomo de un agua simulada con 30 ppm Pb (II) utilizando el Kikuyo como biosorbente preparado mediante un proceso de hidrólisis ácida seguido de una hidrólisis básica. El proceso de adsorción, se realizó en un equipo de prueba de jarras, donde se estudiaron las variables independientes: dosis del biosorbente, velocidad de agitación y pH, y como variable respuesta la capacidad de adsorción (Q). Se logró una capacidad máxima de adsorción de 139.35 mg/g con 0.06 g de dosis de biosorbente (Kikuyo), 100 rpm para velocidad de agitación y pH 6. Se determinó el modelo matemático que relaciona Q, con la variable más significativa, dosis del biosorbente (Do). La cinética de adsorción, obedece a un modelo de primer orden ($R^2 = 0.9445$); donde el valor de $k = 0.0089 \text{ t}^{-1}$. El modelo de Langmuir

es el que representa el proceso de adsorción ($R^2= 0.9955$). 48 Las Conclusiones del estudio realizado son: Se ha demostrado que el Kikuyo es efectivo en la remoción de Pb (II) de aguas contaminadas simuladas, superando a la performance de adsorción de otros biosorbentes de referencia. Los resultados de esta investigación pueden ser aplicados en la remoción de Pb (II) de los efluentes industriales, que presentan niveles de Plomo por encima de los Límites Máximos Permisibles, con lo que no sólo se plantea la posibilidad de aprovechamiento de este residuo; sino de abaratar los costos de tratamiento de los efluentes.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Explotación minera

Después de que un depósito ha sido descubierto, explorado, delineado y evaluado, el siguiente paso será la selección del método de minado que física, económica y ambientalmente se adapte para la recuperación del mineral comercialmente valioso. Desde el punto de vista económico, el mejor método de explotación deberá ser aquel que proporcione la mayor tasa de retorno en la inversión. Adicionalmente, el método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad y permitir un ritmo óptimo de extracción bajo las condiciones geológicas particulares del depósito. Los métodos de minado deben ser elaborados con base en la geología estructural y en la mecánica de

rocas prevaleciendo el concepto fundamental de estabilidad en las obras.

Los rasgos y características de los depósitos minerales fueron creados antes, durante o después de que la mineralización tuvo lugar. De esto dependerán las condiciones que determinen el método de minado más adecuado. Desde el punto de vista de la ingeniería geológica estructural, las siguientes características son de suma importancia en la selección de un método de explotación minera:

- El tamaño y la morfología del cuerpo mineral.
- El espesor y el tipo del escarpe superficial.
- La localización, rumbo y buzamiento del depósito.
- Las características físicas y resistencia del mineral.
- Las características físicas y resistencia de la roca encajonante
- La presencia o ausencia de aguas subterráneas y sus condiciones hidráulicas relacionadas con el drenaje de las obras.
- Factores económicos involucrados con la operación, incluyendo la ley y tipo de mineral, costos comparativos de minado y ritmos de producción deseados.
- Factores ecológicos y ambientales tales como conservación del contorno topográfico original en el área de minado y prevención de sustancias nocivas que contaminen las aguas o la atmósfera.

2.2.2. Relave minero

El relave, es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). Una vez que ese material (la roca) ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta (entre 20 y 30%), que se puede vender como Concentrado o procesar hasta elemento metálico puro. El resto del material (muy pobre en metal) se denomina “relave”, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable

¿Qué es un depósito de relaves?

Es una obra de ingeniería diseñada para satisfacer exigencias legales nacionales, de modo que se aíse completamente los sólidos (relaves) depositados del ecosistema circundante.

¿Qué tipos de depósitos de relaves existen?

Actualmente, existen varios tipos de depósitos de relaves, que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave (es decir, la densidad del relave), y según la forma de contener la depositación. De esta forma existen los siguientes tipos:

- a) Tranque de relave:** Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave, compactado, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, mediante impulsión por flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito.
- b) Embalse de relave:** Es aquel depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. También se llaman embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno en que no se requiere construcción de un muro de contención.
- c) Relave espesado:** Depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en equipo denominado Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos (de manera similar a la limpieza de agua de ríos para hacer agua potable), con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser re-utilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.

- d) Relave filtrado:** Es similar al espesado. Se trata de un depósito en que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtrado, para asegurar así una humedad menor a 20%. Esta filtración es también similar a la utilizada en Agua Potable.
- e) Relave en pasta:** Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundante partícula fina y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.
- f) Otros tipos:** Existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajos abandonados, entre otros.

2.2.3. La fitorremediación

La fitorremediación (phyto=planta y remediación=mal por corregir), es uno de los procesos que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en el suelo, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizo degradación, fitoextracción, la fitodegradación y fitoestabilización. (Betancur, 2005 pag 57-60)

La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto del metal, y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. Este grupo de

fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes (Ortega Ortiz, Benavides Mendoza, Alonso Arteaga, & Zermeño González)

La rizo degradación se lleva a cabo en el suelo que rodea las raíces. La sustancia excretada naturalmente por estas, suministra nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente estos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción).

En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y disponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido la producción de compuestos químicos en las raíces, que pueden absorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interface raíces-suelos. (Betancur, 2005 pag 57-60)

La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación. La fitodegradación puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos como benceno, tolueno, etil benceno y xilenos (BTEX); solventes clorados; HAPs; desechos de nitrotolueno; agroquímicos clorados y organofosforados; además de compuestos inorgánicos como Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Zn

y Hg. Se ha demostrado también su eficiencia en la remoción de materiales radioactivos y tóxicos de suelo y agua (Betancur, 2005 pag 57-60)

Estas fitotecnologías se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicas como inorgánicas, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen (Carpena & Bernal, 2007):

- **Fitoextracción:** uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- **Fitoimmobilización:** uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.
- **Fitovolatilización:** uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- **Fitodegradación:** uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- **Rizofiltración:** uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

Limitaciones que se deben considerar para la aplicación de Técnica:

- El tipo de plantas utilizado determina la profundidad a tratar
- Altas concentraciones de contaminantes pueden ser tóxicas
- La toxicidad y disponibilidad de los productos de la degradación no siempre se conocen y pueden mobilizarse o bioacumularse en organismos vivos. Cuando las plantas han absorbido los contaminantes acumulados, pueden ser cosechadas. Si los contaminantes químicos orgánicos se degradan en las moléculas como el dióxido de carbono, las plantas pueden no requerir ningún método especial de disposición. La incineración controlada es el método más común para disponer las plantas que han absorbido grandes cantidades de contaminantes. Este proceso produce cenizas, que se deben desechar en los sitios destinados para tal fin, ya que estas plantas que han absorbido los metales, durante el proceso de incineración estos metales se ven reflejados en las cenizas. (M.P. Bernal, 2007)

2.2.4. Pasivos ambientales mineros (Pams)

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Art.

2° Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera).

- **Bocamina:** Es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función del tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.
- **Chimenea:** Es una perforación vertical que se ejecuta en la roca y que tiene la misión de comunicar a más de una galería en el interior de las minas subterráneas, las que salen a superficie generalmente sirven para la ventilación de la mina.
- **Corte:** Es el área cercana a la bocamina (ingreso), que por su estructura y composición es similar a un rajo.
- **Depósito de desmonte:** Es el área ocupada por los materiales extraídos del interior de la mina o del área de explotación a tajo abierto, que no contiene valores extraíbles u/o que su extracción no es económica, por lo que se han dispuesto en un lugar donde no se realizan actividades de explotación.
- **Depósito de relave o relavera:** Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto

de los procesos de concentración de minerales, estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, la misma que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa.

- **Edificaciones e instalaciones:** Son las construcciones tales como: planta concentradora, laboratorios, campamentos, oficinas, talleres, almacenes, suministro de energía y agua.
- **Rajo:** Es el área de explotación superficial, por lo general de los afloramientos de minerales de veta y que tienen dimensiones pequeñas. Consisten en cortes alargados.
- **Socavón:** Es la labor horizontal de ingreso a una mina subterránea.
- **Tajo abierto:** Es la depresión o cavidad dejado por la explotación de minerales desde la superficie del suelo. Por otro lado, cabe mencionar, que la minería desarrollada antes de la reglamentación ambiental, también ha afectado áreas o ecosistemas que están siendo considerados como pasivos ambientales a ser remediados; por ejemplo: el lago Chinchaycocha en la región Junín, la laguna Pajushcocha en la región Ancash y la laguna Condoraque en Puno.
- **Cierre de Pasivos Ambientales Mineros:** Se refiere al conjunto de actividades a ser implementadas a fin de cumplir con los criterios

ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de identificación y aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros. El cierre de pasivos ambientales mineros requiere del diseño e implementación de diferentes medidas como desmantelamiento, demolición, estabilización física y química e hidrológica, tratamiento de drenaje ácido de mina y lixiviación de metales, recuperación o rehabilitación de terrenos, revegetación y rehabilitación de hábitats acuáticos.

- **Plan de cierre:** Es un instrumento de gestión ambiental que comprende todas las acciones técnicas y legales requeridas para garantizar el logro de los objetivos de remediación de alguna área con pasivos ambientales mineros. Incluye la rehabilitación de las áreas utilizadas o perturbadas por la actividad minera, para que éstas alcancen características de ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la conservación del paisaje.
- **Etapas del cierre de PAMs.** Comprende dos etapas:
 - a) **Remediación o cierre:** Ejecución de actividades contempladas en el Plan de Cierre que comprende: diseños de ingeniería requeridos para el desmantelamiento; demoliciones; estudios in-situ para la disposición final y/o el rescate de materiales; estabilización física, geoquímica e hidrológica; restablecimiento de la forma del terreno; revegetación;

rehabilitación de hábitats acuáticos; rehabilitación de las áreas de préstamo; provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad; transferencia de propiedad; acceso a las tierras; entre otros.

b) Post cierre: El cierre es seguido de un programa de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post cierre, con la finalidad de medir la efectividad del cierre. Para ello el titular del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros está obligado a continuar desarrollando las medidas de tratamiento de efluentes y emisiones, monitoreo, mantenimiento o vigilancia que corresponda, de acuerdo con el Plan de Cierre aprobado por la autoridad competente por un período mínimo de cinco años después del cierre del mismo.

2.2.5. Riesgos y daños ambientales

Un PAM, constituye un potencial riesgo de contaminación ambiental, y también, un riesgo para la salud humana y animal, y la pérdida de bienes y servicios ambientales. Existen PAMs que contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de sus alrededores, y otros que han causado daños ambientales, pero el Estado aún no cuenta con adecuados mecanismos y estrategias para su atención. Cabe mencionar que la Ley General del Ambiente define daño ambiental como “todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o

no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales” (Artículo 142.2). Se entiende como sus componentes a los elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que, en forma individual o asociada, conforman el medio en el que se desarrolla la vida. Para los daños ambientales generados por los PAMs no existe un marco legal de indemnización o reparación. Lo que se viene desarrollando son instrumentos de prevención, remediación y compensación. Se puede señalar lo siguiente:

a) Contaminación de aguas superficiales y subterráneas: el mayor riesgo ambiental de los PAMs es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de las aguas se debe a liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros y desde las obras mineras, los tajos abiertos y los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes. El potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de la extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores. Los principales mecanismos de transporte a las aguas superficiales y subterráneas son las descargas directas de las aguas de proceso, las aguas de mina, el escurrimiento superficial y la infiltración. Impactos adversos también

al agua superficial lo conforman la descarga superficial de sedimentos contaminados, la reducción del pH, la destrucción de ecosistemas hídricos y la contaminación del agua potable.

b) Degradación de la calidad de los suelos: Los suelos pueden sufrir un impacto por efectos de la contaminación, y la erosión eólica e hídrica. La contaminación se origina por los contaminantes provenientes de los PAMs que llegan al suelo por el viento o el agua, y por la inadecuada disposición de residuos y químicos sobre el suelo, como desmontes de mina, relaves, pilas de lixiviación y otros residuos. La erosión eólica e hídrica se debe a la destrucción de la capa vegetal protectora de laderas de cerro, zonas de pastoreo, entre otros.

c) Contaminación del aire: Uno de los grandes problemas asociados a los PAMs es el arrastre de material particulado, por ejemplo, de los relaves, depósitos de desmontes y pilas de lixiviación- por acción del viento, que puede contaminar el suelo y afectar por inhalación, ingestión o contacto dérmico a las personas y animales. La dispersión del material particulado depende de las condiciones climáticas, del tamaño del material particulado y de la topografía del lugar.

d) Afectación a la salud humana: El uso de agua superficial y subterránea contaminada por los PAMs, como, por ejemplo, contaminación del agua de consumo, agua de riego o como objeto

de recreación, implica un riesgo a la salud por la posible ingestión o contacto dérmico. Además, existe el riesgo por el ingreso de los contaminantes a la cadena alimenticia. De igual modo, la inhalación de aire o polvo contaminado es un riesgo a la salud.

e) Pérdida de bienes y funciones ambientales: Comprende la pérdida de bosques, biodiversidad, suelos o fuentes de agua en ecosistemas donde los PAMs se encuentran. Para la inversión óptima en la recuperación de ambientes naturales degradados se requieren ejecutar evaluaciones ambientales y sociales, así como estudios de valoración económica que permita, de alguna manera, compensar los daños.

2.3 Definición de términos

Los conceptos descritos a continuación dan nociones sobre conocimientos iniciales sobre términos empleados con frecuencia dentro de la fitorremediación para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Ambientum. 2014).

- **Suelo:** Parte externa de la corteza terrestre que es asiento de la vida, formada por la transformación de los minerales y la materia orgánica muerta. Es el componente físico del planeta y se considera como materia no consolidada compuesta por microorganismos, tierra, agua, materia orgánica e inorgánica que se considera de gran importancia para la producción, es decir este se considera un recurso natural renovable que

necesita de un buen manejo y cuidado para poder ser explotado de manera ecológicamente aprovechable.

- **Contaminación:** Desde el punto de vista ambiental se refiere a todo agente físico, químico o biológico que pueda alterar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas modificando por tanto las condiciones del medio ambiente. Esta contaminación después de generada puede ser nocivo para la salud, el bienestar y la seguridad del ser humano y para la vida vegetal o animal. Además, es el agregado de materiales y energías residuales al entorno que provocan directa o indirectamente una pérdida reversible o irreversible de la condición normal de los ecosistemas y de sus componentes en general, traducida en consecuencias sanitarias, estéticas, recreacionales, económicas y ecológicas negativas e indeseables.
- **Suelo contaminado:** Es el tipo de suelo que se encuentra afectado por agentes o sustancias químicas o físicas de tipo sólido, líquido y gaseoso que pueden provenir por acciones de tipo naturales o antrópicas que afectan la biota ya que pueden limitar el crecimiento de plantas y perturbar la biota edáfica; y causar graves consecuencias a la salud humana y animal. Dentro de las sustancias o agentes de tipo químico podemos encontrar los hidrocarburos, metales pesados, entre otros; y los de tipo físico como lo son el ingreso al medio de residuos tanto sólidos como líquidos que necesitan de su remoción para la recuperación de suelos contaminados.

- **Toxicidad:** Grado de efecto tóxico de una sustancia para organismos vivos. Es una medida que permite identificar lo nocivo que puede ser una sustancia al tener contacto con el medio ambiente entre ellos cuerpos vegetales, animales y el ser humano. La toxicidad de un elemento depende de factores como el tiempo de exposición, la cantidad de exposiciones y la vía de administración; y esto causa riesgo para el bienestar de las especies y los ecosistemas.
- **Biorremediación:** Es una estrategia que proviene del concepto remediación, que hace referencia al uso de técnicas físico-químicas las cuales utilizan el potencial metabólico de los microorganismos, así como también los tejidos vegetales de las plantas para remover o transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples. Con el uso de esta técnica se busca disminuir el daño y lograr realizar trabajos de descontaminación de aguas y de suelos. Esta metodología surge de una rama de la biotecnología que puede ser aplicada a todos los contaminantes que puedan ser transformados, acumulados o degradados de tal manera que se disminuya el desequilibrio causado en el medio ambiente.
- **In situ: en latín, en el lugar.** Dícese de las acciones que se llevan adelante en el lugar de interés. Hace referencia al uso de tecnologías de remediación en el sitio específico donde se ubica la contaminación; es decir que la aplicabilidad de técnicas se realiza a los suelos que se desean recuperar en forma directa sin necesidad de excavaciones.

- **Forraje:** En agricultura el forraje es el pasto utilizado para la ganadería. También se le denomina a cualquier comestible de base vegetal empleado específicamente para la nutrición ya que es un complemento proteínico para el adecuado desarrollo del ganado.
- **Absorción:** Proceso por el cual una sustancia (absorbido) es tomada e incorporada en otra sustancia. Es el proceso por el cual una sustancia puede atravesar los tejidos o células vegetales y depende del material vegetal que se emplee y de su capacidad de desarrollar este mecanismo. Este sistema tiene bastante aplicabilidad en materia ambiental para remoción de sustancias contaminantes presentes en el suelo o agua y es un término muy empleado en el proceso denominado Biorremediación.
- **Volatilización:** Se traduce como el convertir en vapor; es decir esta transformación resulta cuando una sustancia cambia de estado de sólido a gaseoso por aumento de temperatura sin pasar al estado líquido. Cabe resaltar que las plantas cuentan con esta capacidad que les permite volatilizar sustancias lo cual permite la realización de procesos de fitorremediación.
- **Tolerancia:** Es la menor sensibilidad que puede tener un agente al suministrarle una sustancia produciendo menos efectos sobre dicho, refiriéndose al igual a la forma que cada organismo se adapta a el uso repetitivo de una determinada sustancia que puede ser toxica pero que no produce efectos de importancia.

- **Remoción:** La palabra remoción proviene del acto de remover. Remover es justamente quitar o sacar algo de su lugar, independientemente de que sea reemplazado o no por otro. Desde el punto de vista ambiental se define como la eliminación o traslado de una sustancia de un lugar a otro; en especial cuando esta sustancia es contaminante y acarrea consecuencias graves al medioambiente como aquellas que puedan poner en riesgo la salud y el bienestar de las especies vegetales y animales y al ser humano ya que estos tienen contacto directo con dicho.
- **Recuperación:** Restituir un ecosistema o población a su condición natural. Este término es muy utilizado en la actualidad en la parte ambiental y se refiere a la reparación como tal de los recursos deteriorados debido al desarrollo de la humanidad en este caso a sus prácticas agrícolas refiriéndose a la sobreexplotación y contaminación de los mismos lo cual acarrea problemáticas severas posteriores a la salud humana y animal.
- **Metales Pesados:** son un grupo de elementos químicos que reciben esta designación debido a diversos criterios. De los 118 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales; de estos últimos solamente 40 elementos son metales pesados. Uno de los criterios de clasificación es la densidad, aquellos metales de densidad mayor o igual a 4 g/cm^3 son considerados pesados, sin embargo, este valor mínimo varía desde 4,5 hasta 5 g/cm^3 Así, la acción tóxica de los contaminantes está determinada tanto por su accesibilidad al organismo como por la serie

de reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan y que en última instancia se manifiestan como signos y síntomas de intoxicación. (Brady & Weil., 2002).

- **Toxicidad de metales pesados:** en un ambiente determinado depende de diversos factores, ya sean factores referidos netamente al metal como factores que se relacionan con el medio y la influencia de este sobre los metales pesados. Los factores que evalúan la toxicidad de los metales según las influencias del medio son llamados factores fisicoquímicos. Estos tienen un efecto conjunto con los factores previamente mencionados sobre el grado de toxicidad y en este caso específicamente sobre la incorporación de los metales pesados a los medios acuáticos (Ernest., 2003).
- **El pH,** afecta a la especiación química y a la movilidad de muchos metales pesados, además de jugar un papel importante en las interacciones con parámetros como la dureza del agua y compuestos orgánicos (Sinhg., 2003).
- **El Potencial redox de un ambiente dado,** influye sobre los fenómenos de especiación metálica. Los sedimentos están sometidos a unas condiciones redox determinadas, que pueden afectar el estado de los metales, así, pueden producir su precipitación.
- **Los Iones inorgánicos,** tanto aniones como cationes, pueden tener superficies con cargas negativas, que pueden ser compensadas por

cationes absorbidos; los cuales a su vez pueden ser desplazados por otros cationes existentes en el ecosistema. Así, los metales pesados pueden ser extraídos de la solución, pero solo temporalmente. De esta se varía su bioasimilación y su toxicidad (Mc Grath., 2001).

- **La Temperatura**, influye sobre la solubilidad y la distribución del estado fisiológico en la biota del sistema acuático del que va a depender la respuesta frente al tóxico.
- **Los Minerales de arcilla y los hidróxidos de metales**, presentes en los sedimentos de los cursos de agua pueden influir sobre la toxicidad. Esto se da debido a las cargas negativas superficiales que adsorben cationes metálicos que existen en el medio (Mc Grath., 2001). El comportamiento y la acción tóxica de los metales pesados está determinada por su accesibilidad al medio en cuestión, como por la serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan y que en última instancia se manifiestan como signos y síntomas de intoxicación (Volke., 2002).

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Si medimos de manera adecuada la efectividad del *Stipa Ichu* y la *Festuca Dolichophylla* en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn para relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha entonces se rehabilitará correctamente los suelos contaminados.

2.4.2 Hipótesis específicas

1. El análisis positivo de la tolerancia del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla para metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn permitirá evaluar correctamente su asimilación.
2. Si analizamos los efectos de bioestimulación que se dan para sustratos contaminados entonces se determinara cuáles serán los nutrientes adicionados en este proceso de fitorremediación
3. La medición adecuada de la relación entre indicadores químicos y biológicos permitirá su utilización óptima en la degradación de relaves mineros presentes en Quiulacocha.
4. La correcta medida de efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando el Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla mejorara si las técnicas de rehabilitación ambiental son las adecuadas.

2.5 Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Efectividad del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn

2.5.2. Variable dependiente

Rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros

2.6 Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: operación de variable No 1

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Técnica de recolección	Instrumento
Efectividad del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla en la asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn	Efectividad	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de metales presentes en el suelo/ tamaño de planta 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico. • Análisis morfológico de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • ICP • Fichas de evaluación morfológicas.
	Asimilación y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de metales presentes en la planta / tamaño de planta • Indicadores físicos: pH, salinidad, dureza, conductividad eléctrica, etc. • Indicadores químicos: evaluación de metales pesados Pb, Cd, Fe y Zn 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis fisicoquímico. • Análisis morfológico de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • ICP • Fichas de evaluación morfológicas • Multiparámetro Hanna 9003.

Tabla 2: operación de variable No 2

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Técnica de recolección	Instrumento
Rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros	Fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de absorción de metales en las especies. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis fisicoquímico 	<ul style="list-style-type: none"> • ICP • Multiparametro Hanna 9003.
			<ul style="list-style-type: none"> • Análisis morfológico de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de evaluación morfológicas.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Por el tipo de investigación que se persigue es Experimental.

3.2. Método de investigación

Los métodos que se emplearon en la Investigación son el Inductivo-Deductivo, que consistió en la acción de conocer y manejar correctamente la Técnica de los barriles en los procesos de fitorremediación; el Método Experimental para indicar los elementos físico químicos presentes en los suelos fitorremediados y el Método Analítico para explicar las dificultades que podrían tener las plantas y suelos analizados al haber sido evaluado por el Diseño Cuasi Experimental y sugerir algún tipo de mejora en el análisis del

mismo; de la misma manera el Método Bibliográfico – Documental para indicar las experiencias que se han venido realizando en el trabajo de investigación.

3.3. Diseño de la investigación

En la evaluación de los suelos y plantas, que serán fitorremediados se utilizó el **Diseño Cuasi Experimental**; para ello se empleará el **Pre y Post test en dos Grupos**. El primer grupo de Control y el segundo grupo Experimental donde se aplicará el estímulo.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población está constituida por el área total de la Relavera Quiulacocha cuya extensión es de 115 hectáreas.

3.4.2. Muestra

Se trabajó en áreas de 1m² utilizando para ello las siguientes plantas:

- El Stipa Ichu
- La Festuca. Dolichophylla

3.5. Técnicas de instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnica

- a) La observación:** Se empleó la observación estructurada, porque se manipulo los hechos que se observen. Así mismo el trabajo documental, estará centrado en la revisión de libros, revistas y otros documentos que tendrán relación con mi investigación.

También, se utilizará las informaciones obtenidas a través del Internet.

b) Fichaje: se utilizó el fichaje bibliográfico para anotar los datos referidos a los libros que se manejaran durante la investigación. Además, las fichas de transcripción textual, transcribiendo entre comillas al pie de la letra el contenido científico.

c) Técnicas analíticas de laboratorio, mencionamos algunas de ellas:

- Muestreo de Suelo
- Muestreo de Plantas
- Preparación de las muestras
- Análisis Químico
- Granulometría
- Carbono orgánico (Materia Orgánica)
- pH
- Conductividad eléctrica (CE)
- Análisis elemental (% N, P y K)
- Contenido de Metales Pesados

3.5.2. Instrumentos

Para el análisis se utilizó el ICP sistema dual para la caracterización de los metales presente en los suelos y plantas fitorremediados. Los datos numéricos se procesaron agrupándolos en intervalos y se tabularán. Luego se construyeron con ellos cuadros estadísticos,

calculándose además las medidas de tendencia central, de dispersión o de correlación que resulten necesarias. De allí en adelante se trabajó al igual que los otros datos numéricos, mediante la tabulación y el procesamiento en cuadros estadísticos.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Procesamiento manual

Para la variable independiente: se formuló un procedimiento de análisis con la finalidad de conocer el funcionamiento de Efectividad de dos especies vegetales, así como se utilizó una estrategia analítica adecuada que permita valorar su importancia de fitorremediación para la comunidad y el medio ambiente.

Para la variable dependiente: empleamos el escalamiento de Likert, para medir los problemas ambientales que se dan en Quiulacocha, de tal manera que se pueda rehabilitar suelos contaminados con relaves mineros y de esta forma tener conciencia crítica y autocrítica de la problemática ambiental de su entorno.

3.7. Tratamiento estadístico

Se ha utilizado el software SPSS23, utilizando como estadígrafo la t de student toda vez que los tamaños de muestra referidos a los datos de trabajo son menores a 30.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Indicar que los datos señalados en las distintas tablas están referidas a la empresa Inspectorate Service Perú S.A.C. los cuales a su vez tienen la valides de **INACAL**. Ver anexo.

3.9. Orientación ética

Buscar el equilibrio entre los distintos aspectos del desarrollo humano y la conservación de los recursos naturales, atendiendo a los derechos de las generaciones futuras, en el afán de lograr un desarrollo sustentable.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Diseño de prueba de barriles

En esta sección, se detalla el diseño de las pruebas de barriles, el cual involucra la configuración final, así como la distribución, la identificación de las especies vegetales en los barriles y la composición de las aguas de riego.

El presente diseño fue validado en función a la evaluación de la fase de adaptación de las especies vegetales y datos de campo complementarios, tales como velocidades de filtración, análisis de efluentes, análisis de agua natural de riego, y datos de crecimiento

de las especies vegetales, se ha podido ajustar el diseño a las condiciones reales de campo.

A continuación, se describe el criterio utilizado para la definición de las configuraciones establecidas en las pruebas de barril. Para aquellos barriles con relaves en su configuración, se tomaron las cantidades necesarias desde el sector 2 (zona aguas abajo del dique flotante) del DR Quiulacocha.

a) *Barril 1 (relave sector 2 + top soil + especies vegetales + riego efluentes)*

Este barril replica un diseño de cierre seco (relave + material impermeabilizante + material inerte + cobertura vegetal). Este barril contiene una capa de relaves del sector 2, una cobertura de top soil sobre la cual se plantaron las especies vegetales seleccionadas para las pruebas de barril¹. No se considera presencia de columna de agua permanente para esta configuración y se realizó el riego con una mezcla de efluentes determinada previamente (efluente de riego)² para este uso. El comportamiento que se ha asumido en esta configuración es que en el cierre final del DR se tendrá una entrada de efluentes constante en el sector 1 y aporte de precipitaciones, principalmente durante la temporada húmeda, estos aportes fluirán de manera permanente por la zona con cobertura.

b) *Barril 2 (relave sector 2 + especies vegetales + top soil + riego agua natural)*

Este barril también basa su configuración en el diseño de cierre seco. En tal sentido, este barril contiene una capa de relaves del sector 2, una cobertura de top soil, sin columna de agua y se realizó el riego, a diferencia del Barril 2, solo con agua de fuente natural. El comportamiento que se ha asumido en esta configuración es que en el cierre final del DR se tendrá una entrada de agua natural producto de las escorrentías (precipitaciones) que fluyen al DR, principalmente durante la temporada húmeda, estos aportes fluirán de manera permanente por la zona con cobertura.

c) *Barril 3 (grava+ top soil + riego efluentes)*

Respecto a la configuración del Barril 3, este fue considerado como barril de control, ya que contribuyo para el análisis comparativo temporal del comportamiento de las especies en un ambiente natural (Barril 3) y otro disturbados (Barril 1 y 2) frente a las mismas condiciones climáticas del entorno.

En tal sentido, la configuración de este barril consideró la colocación de grava y top soil. El comportamiento que se ha asumido en esta configuración es la de una cobertura vegetal no disturbada y que tendrá un riego con efluentes, el cual posee las mismas características que el empleado en el Barril 1.

4.1.2. Selección y recolección de especies

Todos los barriles disponen de la misma distribución de especies vegetales de acuerdo a lo mostrado en la siguiente tabla.

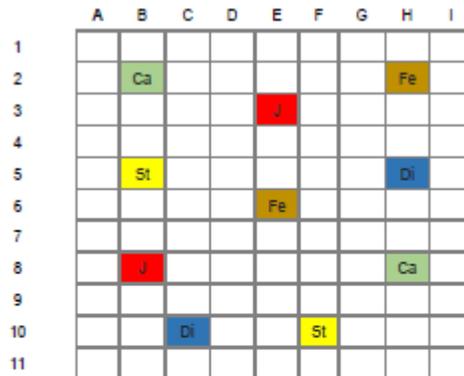
Tabla 3: Distribución de especies vegetales

Especies	Individuos por barril	Características	Proveniencia: Locales/ Foráneas
<i>Scirpus californicus</i>	2	Porte alto	Foráneas – Centro Poblado de Huayre, Junín – Bordes del lago Chinchaycocha
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	2	Porte corto	Local – Huayre, Junín
<i>Festuca dolichophylla</i>	2	Porte alto	Local – Huayre, Junín
<i>Stipa ichu</i>	2	Porte alto	Local – Huayre, Junín
<i>Distichia muscoides</i>	2	Porte corto	Local – Cuchis Chico, cerca de Cuchis Grande. Cerro de Pasco

Fuente: WSP, 2018

El cuadrante de distribución y medición mide 1 m² (90 cm por 110 cm), y cada subdivisión mide 10 cm², lo cual se muestra a detalle en la siguiente ilustración. El cuadrante se construyó según las mediciones de los barriles.

Ilustración 1: Distribución



Fuente: WSP, 2018

Especies vegetales de los barriles

Se requiere trabajar con un conjunto de especies locales y foráneas, las cuales son: *Stipa ichu*, *Calamagrostis vicunarium*, *Festuca dolichophylla*, *Distichia muscoides* *Stipa Ichu*, *Scircus californicus* (totora), los cuales se muestran en la siguiente ilustración.

Ilustración 2: Especies vegetal a trasplantar en los barriles



Fuente: WSP, 2018.

- a. *Stipa Ichu*
- b. *Calamagrostis vicunarium*
- c. *Festuca dolichophylla*
- d. *Distichia muscoides*
- e. *Scircus californicus* (Totora).

Asimismo, en la Ilustración 3.5 se presenta la distribución espacial de las especies en el barril.

Ilustración 3: Distribución especial de las especies en el barril



Fuente: WPS, 2018

Las especies locales son las que se identificaron alrededor de la laguna de Quiulacocha (*Stipa Ichu*, *Calamagrostis vicunarum*, *Festuca dolichophylla*, *Distichia muscoides*) y la especie foránea es la que se identificó en los alrededores de la Provincia de Pasco, la *Scirpus californicus* y que fue seleccionada por su potencial de remoción de metales.

Las especies locales y foráneas fueron colectadas a una distancia máxima de 50km de la ciudad de Cerro de Pasco (distancia máxima para la *Scirpus*). En la siguiente tabla se presentan las referencias de los puntos de recolección de cada especie señalada.

Tabla 4 Lugares de recolección de las especies para pruebas de barril

Especies	Proveniencia: Locales/ Foráneas
<i>Scirpus californicus</i> (<i>Totora</i>)	Foráneas – Centro Poblado de Huayre, Junín – Bordes del
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Local – Huayre, Junín
<i>Festuca dolichophylla</i>	Local – Huayre, Junín
<i>Stipa ichu</i>	Local – Huayre, Junín
<i>Distichia muscoides</i>	Local – Cuchis Chico, cerca de Cuchis Grande. Cerro de Pasco

Fuente: WPS, 2018

En las siguientes ilustraciones se muestran registros fotográficos de la recolección de las especies vegetales.

Ilustración 4: Panel fotográfico - Recolección de especies vegetales



Foto 1: Ubicación del sitio de recolección de *Scirpus californicus* (Totora)



Foto 2: Recolección de *Scirpus californicus* (Totora)



Foto 3: Recolección de *Distichia*

Fuente: WPS, 2018

4.1.3. Instalación de barriles

La presente sección detalla cada una de las cinco (05) etapas de la instalación de los barriles:

Etapa 1: armado de barril

Etapa 2: instalación de las válvulas laterales de drenaje

Etapa 3: relleno de barril

Etapa 4: trasplante vegetal

Etapa 5: primer riego y homogeneización de la superficie

a) Etapa 1: armado de barril

La preparación de los barriles se debe realizar en un lugar con disponibilidad importante de agua y flujo eléctrico. Para el armado de los barriles se deben desarrollar las siguientes actividades:

- Corte de fierro: se debe cortar las dos barras metálicas de la jaula de protección que se encuentran en la parte superior del barril
- Corte de plástico: cortar la superficie superior de los barriles para poder abrirlos. El corte debe ser uniforme y lo más recto posible. Se puede realizar el corte usando un cuchillo grueso y sierra.
- Limpieza: si los barriles no fueron adquiridos limpios se debe limpiar con agua y detergente, sobre todo el interior de los

barriles, en caso que no sirva remover las grasas u otras sustancias tóxicas utilizar soda caustica.

- Perforación del orificio de válvula: Con un taladro, se debe realizar una perforación de ½” de diámetro y debe ubicarse a una altura de 38 cm para la instalación posterior de la válvula.

Ilustración 5: Etapa 1: armado de barril



Fuente: WPS, 2018

Luego de haber adecuado los barriles se transportó hacia el lugar del experimento: Base Militar de Quiulacochoa.

b) Etapa 2: instalación de las válvulas laterales de drenaje

La instalación de las válvulas laterales de drenaje se realiza en dos (02) etapas: la primera es el armado y la instalación del conjunto niple con la unión con rosca y la segunda es la colocación de la tubería PVC y válvula de drenaje

En la siguiente tabla se presenta la descripción y esquema de ejecución de la etapa de armado del niple con la unión rosca.

Tabla 5: Armado del niple con la unión rosca

Ítem	Secuencia de actividades	Esquema procedimiento
1. Armado de niple con la unión rosca		
1.1	Limpiar con una lija la superficie del contorno del orificio de ½". Lijar las partes interior y exterior del barril.	
1.2	Cortar con una tijera cuatro pedazos de jebes de una cámara de llanta en forma circular con un diámetro mayor a la válvula de PVC de ½".	
1.3	Colocar tres pedazos de jebes sobre el medio del niple de PVC roscado de ½".	
1.4	Colocar cinta de teflón a un costado del niple y luego colocar una unión con rosca.	
1.5	Adicionar pegamento Oetay color azul en la superficie lijada del orificio del interior y exterior del barril.	
2. Instalación del sellado a presión		
2.1	Colocar un pedazo de jebes sobre el niple con el fin de sellar el flujo de agua.	
2.2	Luego colocar la unión rosca al niple el cual presiona a los jebes evitando el pase de un flujo de agua.	
2.3	Dejar secar el pegamento por 45 minutos mínimo.	
3. Colocación de la tubería PVC de drenaje y válvula		
3.1	Cortar con un arco con sierra un pedazo de tubería PVC de ½" de 5 cm, y añadir pegamento Oetay color azul a ambos lados.	
3.2	Introducir un lado de la tubería en la unión roscada del exterior del barril y el otro lado introducir lo en la válvula de PVC de ½".	
3.3	Cortar con un arco con sierra 10cm de tubería, añadir pegamento Oetay color azul en un lado e introducirlo a la válvula de PVC de ½".	
4. Instalación del tubo ranurado		
4.1	Cortar con un arco con sierra un pedazo de tubo de 20 cm y a cada 1 cm cortar transversales hasta la mitad del tubo.	
4.2	Adicionar pegamento Oetay color azul a un costado del tubo ranurado, e introducirlo en la unión roscada de ½" del interior del barril	

Fuente WSP, 2018

En la siguiente ilustración se presenta el registro fotográfico de las actividades de instalación de válvulas laterales de drenaje llevadas a cabo durante la instalación de los barriles bajo supervisión de WSP.

Ilustración 6: Instalación de la válvula



Fuente WSP, 2018

c) Etapa 3: relleno de barril

Antes de iniciar el llenado de barril, usando un marcador indeleble, se realizaron las marcas de medidas correspondiente a los diferentes insumos del relleno de acuerdo a los diseños.

Para el relleno de los barriles se recolecto previamente los materiales a verterse en el interior tales como los relaves y el top soil. El procedimiento de relleno de barril consta de dos (02) fases las cuales se describen con detalle a continuación.

- **Recolección de materiales de relleno de los barriles**
- **Recolección de relaves**

Como lo especifican los diseños de pruebas de barriles de las ilustraciones 3.1 y 3.2, en los barriles instalados por WSP se consideró relave de la Zona II de la relavera de Quiulacocha, La recolección se realizó llenando baldes de plástico las mismas que fueron transportadas hacia la base militar con camioneta. En la siguiente ilustración se aprecia el registro fotográfico de la recolección de relave ejecutado previo al proceso de llenado de los barriles.

Ilustración 7: Recolección de relave en la Zona II de la relavera de Quiulacocha



Fuente: WSP, 2018

Recolección de topsoil

El top soil o materia orgánica está conformada por una mezcla de material conformado por 95% de tierra de la cantera 2 de la Comunidad Quiluacocha y un 5% con guano de ovino. Esto se puede conseguir mezclando 1,5 m³ de tierra con 1,5 saco (60 kg) de guano de ovino de la Comunidad de Quiluacocha.

Para realizar la mezcla de la manera la más homogénea posible se debe primero echar la tierra en el piso, repartir encima uniformemente el guano de isla, y gracias a una pala mezclar los dos insumos.

Luego se desplazó la mezcla preliminar gracias a la pala, realizando otra fase de mezcla para asegurarse de obtener un top soil muy homogéneo para su uso en los barriles. En la siguiente ilustración se aprecia el registro fotográfico de la recolección de top soil ejecutado previo al proceso de llenado de los barriles

Ilustración 8: Proceso de elaboración del top soil: mezcla tierra y guano de ovino



Fuente: WSP, 2018

Primera fase de relleno de barril

Haciendo uso de baldes de plástico con relave, se relleno los barriles hasta la marca definida en cada barril previamente. Asimismo, se uniformizo la altura del relave regularmente. Una vez alcanzada la marca del barril, se añadio agua hasta saturación de relave.

No se debe añadir demasiada agua, sino la instalación del drenaje se verá dificultado por un exceso de agua en el barril. Luego de saturar el relave se dejó el relave con agua unas 8 horas.

Para no malograr el tubo de PVC de drenaje interno y la válvula, se puede usar una protección tipo balde de plástico alrededor del tubo de PVC, de manera que evite golpear el tubo durante el relleno. Ver ilustraciones a continuación.

Ilustración 9: Protección del tubo PVC durante el llenado de barril



Fuente: WSP, 2018

Ilustración 10: Llenado de barril con relave y saturación con agua



Fuente: WSP, 2018

Instalación del tubo de drenaje

El tubo PVC de drenaje, se encuentra a la interfaz entre el relave y la materia orgánica. Para evitar que partículas gruesas de relave o de materia orgánica entren en el tubo y lo obstruyan, se trabajó con tres (03) filtros alrededor del tubo, permitiendo

solamente la escorrentía del agua del barril. Los filtros usados son malla de plástico, arena gruesa y piedra de ¼” de diámetro.

Primero se debe colocar la malla de plástico alrededor del tubo. Cuidando mucho la manipulación para evitar el ingreso de piedras o arena por las ranuras del tubo. Realizar tres (03) vueltas con la malla alrededor del tubo.

Luego colocar arena gruesa con un espesor de 10 cm, y por último la piedra de ¼” de diámetro colocándose alrededor de la tubería con un espesor de 5 cm.

Ilustración 11: Instalación del tubo de drenaje



Fuente: WSP, 2018

Notas: a. Malla plástica; b. tubo PVC de ½” ranurado; c. y d. Instalación de la piedra y arena gruesa. Fuente: WSP, 2018

Ilustración 12: Finalización de la instalación del tubo de drenaje



Fuente: WSP, 2018

Segunda fase de relleno de barril

Antes de proceder a la segunda fase de llenado de barril se limpió las paredes del barril de las salpicaduras de relaves, asegurando que las reacciones entre los microorganismos contenidos en la materia orgánica se realizarán solamente en la parte de interfaz relave-top soil. De esta manera se prevendrá el efecto negativo de partículas de relave en el crecimiento de las plantas y generará condiciones iguales para todos los barriles, acaso que algunos de los barriles serían más sucios que otros.

Para esto, primero, rascar los depósitos de relaves o salpicadura gracias a espátulas y luego terminar la limpieza con un guaipe húmedo. Ver la siguiente ilustración.

Ilustración 13: Limpieza de las paredes del barril



Fuente: WSP, 2018

Luego de haber llenado el barril con relave, de la instalación del tubo de drenaje, y limpieza de las paredes; se terminó de llenar el barril con la materia orgánica preparada previamente.

Esta segunda fase se realizó con mucho cuidado, para no mezclar tierra orgánica y relave, y conservar una superficie de interfaz relave-top soil plana, además de no generar nuevas salpicaduras en las paredes del barril.

El proceso puede ser facilitado nivelando la capa de top soil regularmente, con una barra de madera.

Llenar el barril hasta 2 cm - 3cm arriba de la marca prevista, previniendo una futura compactación del suelo luego del riego.

Finalmente, se aseguró un nivel regular y superficie homogénea de tierra en el barril, facilitando el proceso de los primeros riegos.

Ilustración 14: Llenado del barril con materia orgánica



Fuente: WSP, 2018

d) Etapa 4: trasplante vegetal

El trasplante se realizó en dos etapas: la distribución de las especies según el diseño establecido y el trasplante en sí mismo.

Esta etapa se realizó de manera continua; es decir, las plantas luego de ser ubicadas en la superficie del barril deben ser trasplantadas sin espera.

Distribución de las especies en la superficie del top soil

Al interior de una malla metálica de 1m² (0,90 m x 1,10 m) se distribuyen todas las especies vegetales en la superficie del top soil según lo indicado en el diseño presentado en la parte 3.1.2 y de acuerdo a la siguiente secuencia de pasos:

- Superponer el cuadrante arriba del barril, en una posición estable. Considerar la misma orientación del cuadrante por todos los barriles, para facilitar las comparaciones ulteriores entre barriles.
- Posicionar cada planta gracias a su código, según la. Por ejemplo, en la posición B2 del cuadrante (posicionado sobre el barril) se debe ubicar una *Calamagrostis*.
- Luego de posicionar todas las plantas y verificar que cada una esté presente (10 individuos en total), se retiró el cuadrante para la próxima etapa.

Ilustración 15: Llenado del barril con materia orgánica



Fuente: WSP, 2018

Trasplante de las especies

Las especies vegetales deben ser trasplantadas una por una de acuerdo con la siguiente secuencia de pasos.

- Levantar la especie a trasplantar y abajo con el apoyo de una pala chica realizar un hueco dentro la tierra orgánica. El hueco debe tener un diámetro más grande que el de la circunferencia de las raíces de la planta, por lo menos de 5 cm.
- La profundidad depende de cada planta, pero de igual manera debe ser un poco más profundo que la altura de las raíces. La materia orgánica que se encuentra al fondo del hueco, y que va a estar en contacto no debe ser compactada para permitir el mejor enraizamiento de las plantas.
- Insertar la planta en el hueco y llenar los espacios vacíos con más suelo. Con los dedos compactar un poco el suelo añadido alrededor de la planta.
- El suelo no debe ser demasiado compactado, pero la planta debe mantenerse bien recta y no caer.

- En el caso de las especies *Sircus* y *Distichia* la técnica de trasplante varía un poco, dependiendo del barril. En el caso del barril sin columna de agua (1, 2 y 3), es mejor trasplantar un poco más profundo estas dos especies, favoreciendo su recolección de agua. *Sircus* y *Distichia*, siendo especies de bofedales soportan muy bien la presencia de charcos de agua.

Ilustración 16: Trasplante de plantas



Fuente: WSP, 2018

e) Etapa 5: primer riego y homogeneización de la superficie

El primer riego se realizó inmediatamente después de cada trasplante. Es muy importante no esperar que las raíces de las plantas empecen a secar. Para primer riego echar con ayuda de la regadera para que el riego sea lo más suave posible, entre 15 y 20 litros de agua, dependiendo de la absorción del suelo.

- Echar por 5 litros a la vez, y esperar entre cada riego.
- Después de haber echado 10 litros, se esperó que baje el nivel de agua y se homogenizó la superficie del barril añadiendo

tierra a fin de llenar los huecos o charcos de agua. Se debe obtener una superficie de suelo, lo más plano posible.

- Si luego de haber echado 15 litros el suelo no absorbe más agua no regar más, si el suelo sigue absorbiendo agua se puede añadir 5 litros más.

4.1.4. Acondicionamiento y adaptación de las especies en los barriles.

La instalación de los barriles se llevó a cabo durante la primera semana del mes. Las especies vegetales consideradas en la instalación de los mismos requerirán un (01) mes de adaptación. Con la finalidad de contar con instrucciones claras del manejo durante este proceso se ha desarrollado el presente manual de adaptación de especies.

- **Aplicación de riego**

Durante el primer mes de operación preliminar (proceso de adaptación) los barriles 1, 2 y 3, no se regaron con aguas servidas. Estos barriles recibirán la misma cantidad de agua natural, la cual será recolectada en la salida de agua de manantial de la base Militar de Quiluacocha, la cual será analizada. El manantial es una surgencia natural de agua subterránea.

Ilustración 17: Fuente de agua natural proveniente del manantial



Fuente: WPS, 2018

- **Metodología**

La cantidad de agua a echar a los diferentes barriles los días sábado y domingo, se definió según las condiciones de cada barril, así como, con base en las observaciones del equipo de campo y de la especialista. La válvula de drenaje fue cerrada antes del riego (día sábado) hasta la finalización del riego, y la toma de muestra de agua puntual.

En este sentido, en la siguiente tabla, se resumen las actividades ejecutadas en los barriles 1, 2 y 3, por semana de trabajo.

- Considerando la entrada en la temporada seca. Se confirmó las condiciones climáticas con el equipo presente en campo para ajustar el cronograma de riego, si es necesario.

Tabla 6: Actividades – Prueba de barriles sin columna de agua

Semana de trabajo	Frecuencia de riego	Actividades		
		Observación del pluviómetro	Riego	Manejo de la válvula de Drenaje
Primera semana:	Inter diario: Lunes, miércoles, viernes y domingo	Observar la lámina de agua presente en el pluviómetro (o envase graduado). Si la lámina es superior a 1,5cm, no se regará. Si la lámina es inferior a 0,5 cm regar con 15 l de agua. Si la lámina se encuentra entre 0,5 y 1,5 cm regar con 10 L. Después de cada riego se debe dejar el envase graduado vacío. (ver Fuente: WPS, 2018 ¹ Considerando la entrada en la temporada seca. Se confirmarán las condiciones climáticas con el equipo presente en campo para ajustar el cronograma de riego, si es necesario.	Aplicar la cantidad de agua definida durante la observación de manera homogénea, y sin generar huecos en la superficie de tierra.	De manera general se debe mantener la válvula de drenaje cerrada dos (02) días a la semana. Primer día: Abrir las válvulas de drenaje. Antes del riego del tercer día, se cerrará la válvula de drenaje, la cual se abrirá de nuevo luego del riego del quinto día. El último día, se cerrará la válvula.
Segunda semana:	Inter diario: martes, jueves y sábado	Observar la lámina de agua presente en el pluviómetro (o envase graduado). Si la lámina es superior a 1 cm, no se regará. Si la lámina es inferior a 0,5 cm, regar con 10 L de agua. Si la lámina se encuentra entre 0,5 y 1,0 cm regar con 5 L. Después de cada riego se debe dejar el envase graduado vacío.	Aplicar la cantidad de agua definida durante la observación de manera homogénea, y sin generar huecos en la superficie de tierra.	De manera general se debe mantener la válvula de drenaje cerrada 2 días a la semana. Durante el riego de martes se abrirá la válvula de drenaje, la cual se cerrará antes del riego de jueves. Sábado se abrirá la válvula.
Tercera y cuarta semana:	Diario	Observar la lámina de agua presente en el pluviómetro (o envase graduado). Si la lámina es superior a 1 cm, no se regará. Si la lámina es inferior a 1 cm, el riego dependerá de la humedad del suelo de cada barril: si el suelo del barril es saturado de agua (observación de charcos de agua en el barril o zonas de barro) no se regará; en caso contrario se regará con 5 L de agua. Después de cada riego se debe dejar el envase graduado vacío.	Aplicar la cantidad de agua definida durante la observación de manera homogénea, y sin generar huecos en la superficie de tierra.	La válvula de drenaje se mantendrá abierta.

Fuente: WPS, 2018

Ilustración 18: Envase de medición de lluvia



Fuente: WSP, 2018

Reporte de estado vegetativo en los barriles

A continuación, se precisan los lineamientos principales a seguir, asociados al reporte del estado vegetativo:

Por cada barril se reportó a la especialista la presencia de cualquier anomalía, tales como:

- Secado de individuo vegetal por estrés hídrico (síntomas de planta seca; coloraciones con cambio de color el amarillo – marrón claro, ausencia de verde).
- Mal estado general de un individuo (cambio de color, cambio de estatura); por lo cual, se describirá lo observado y la respectiva toma de fotografía.
- Presencia de insectos/plaga en cantidad anormal.

Una vez por semana se tomó una fotografía de cada barril. La fotografía incluyó las 10 especies vegetales. La orientación de la fotografía fue la misma por todo (ver ilustración 19), especificando el

número de cada barril en la foto. Se planificó una llamada telefónica con la especialista una vez por semana, además de todas las veces adicionales que se necesita.

Ilustración 19: Modelo de fotografía de las pruebas de barril.



Fuente: WSP, 2018

4.1.5. Monitoreo y control de barriles

Mediciones mensuales en campo y recolección de muestras

Incluye la supervisión mensual del estado de los barriles por parte de los especialistas de WSP para la verificación de los parámetros de campo, toma de muestra de los efluentes y verificación del estado de los barriles, de manera que permitió analizar la evolución de las condiciones de la calidad de los efluentes que a su vez permitió identificar limitaciones y/o recomendaciones relacionadas al correcto funcionamiento de los barriles y las condiciones de operación de los mismos, así mismo la recolección de muestras mensuales para ser analizadas en el laboratorio.

Medición y evaluación de las especies vegetales

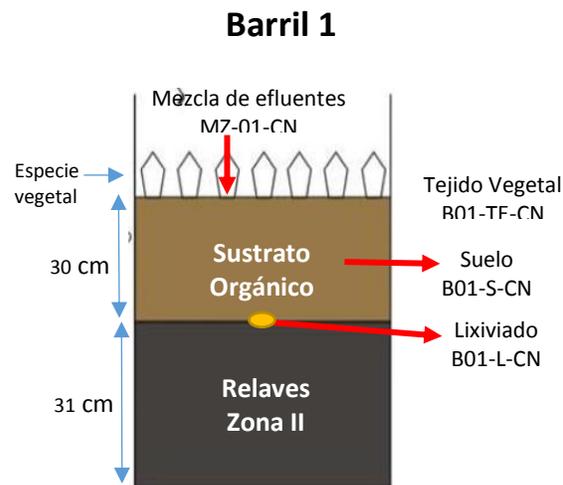
La evaluación del crecimiento y desarrollo de cada individuo vegetal en cada barril, consistió en la medición de los siguientes parámetros para cada planta: altura, largo, ancho, densidad, necromasa, presencia de individuo asociado, fertilidad y aparición de nuevo individuo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Diseño de barriles

4.2.1.1. Diseño de barril 1.

Ilustración 20: Diseño del Barril 1

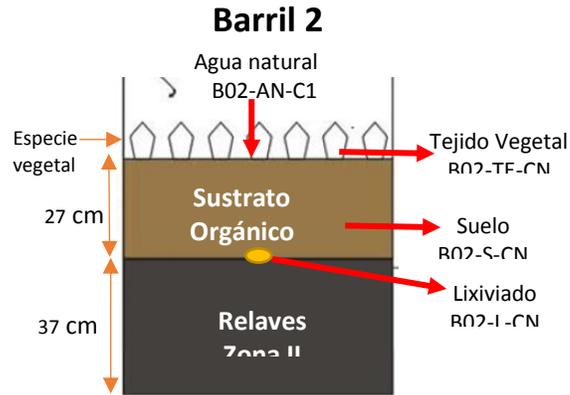


Fuente: Propias de la autora.

En el cierre final se tendrá una entrada de efluentes constante en el sector 1 y aporte de precipitaciones, principalmente durante la temporada húmeda.

4.2.1.2. Diseño de barril 2

Ilustración 21 Diseño del Barril 2

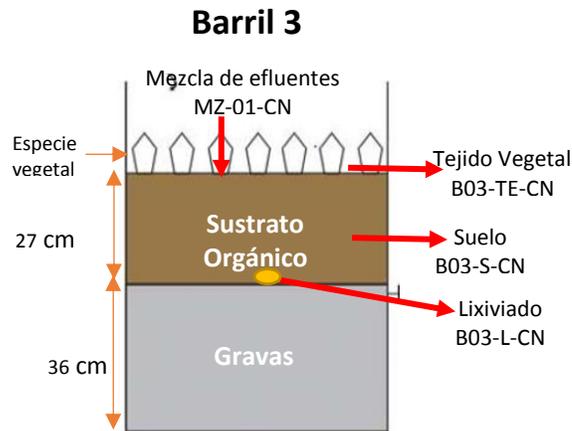


Fuente: Propias de la autora.

En el cierre final se tendrá una entrada de agua natural producto de las escorrentías (precipitaciones) que fluyen, principalmente durante la temporada húmeda.

4.2.1.3. Diseño de barril 3

Ilustración 22: Diseño del Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Barril de control para el análisis comparativo temporal del comportamiento de las especies en un ambiente natural (Barril 3) y otros disturbados (Barril 1 y 2) frente a las mismas condiciones climáticas del entorno.

4.2.2. Monitoreo y control de barriles

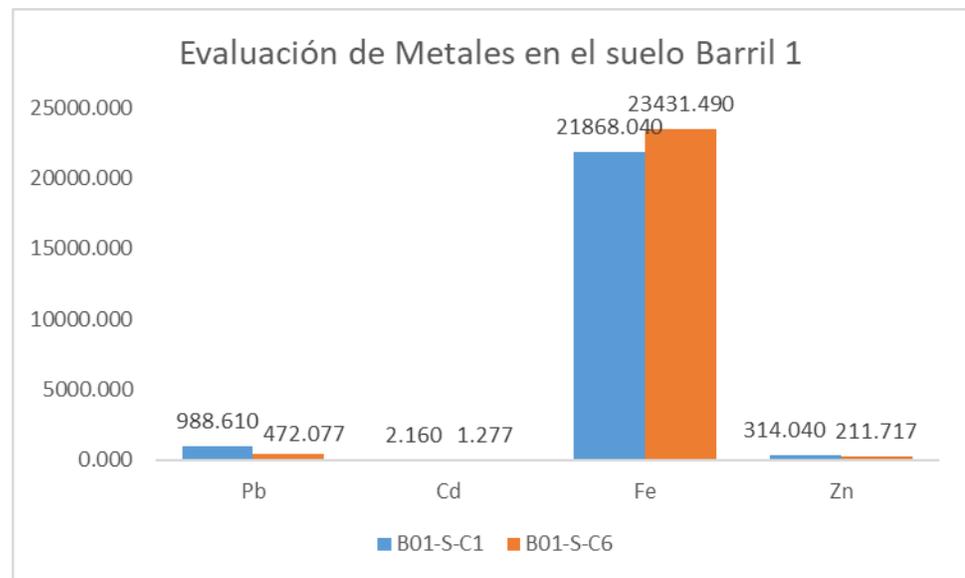
4.2.2.1. Monitoreo y control de barril 1

Tabla 7: Evaluación de metales en el suelo Barril 1

SUELO (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES						
	B01-S-C1	B01-S-C2	B01-S-C3	B01-S-C4	B01-S-C5	B01-S-C6
Pb	988.610	883.470	851.330	679.357	675.717	472.077
Cd	2.160	1.730	1.930	1.667	1.552	1.277
Fe	21868.040	22183.730	22093.420	22806.110	23618.800	23431.490
Zn	314.040	311.580	265.110	270.647	226.182	211.717

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 23: Evaluación de metales en el suelo Barril 1



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

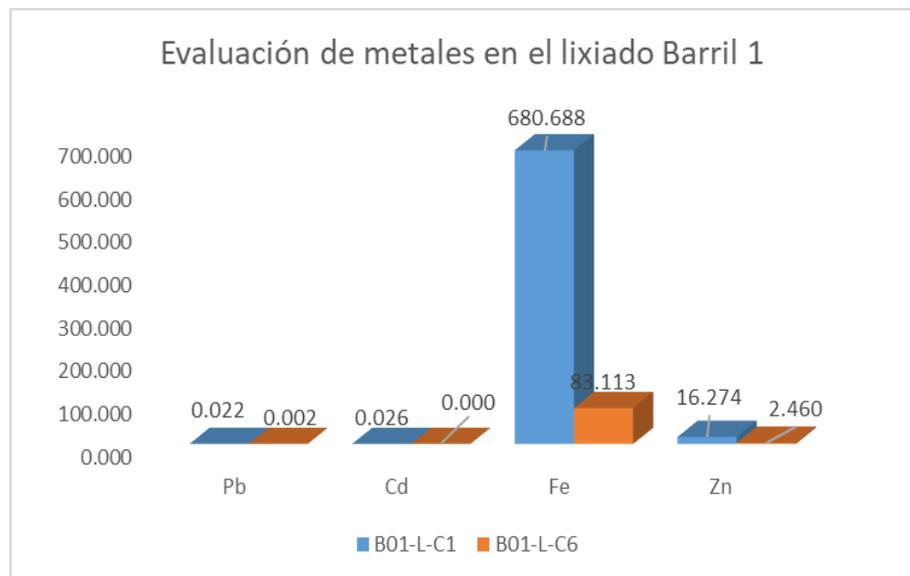
Los datos mostrados del mes 1 (campaña 1) y mes 6 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el suelo como son el Pb, Cd y Zn; esto debido a una absorción de las plantas en el proceso de fitorremediación con biotecnologías.

Tabla 8: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 1

AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - LIIXIVIADO							DS 010-2010- MINAM Lmp
	B01-L-C1	B01-L-C2	B01-L-C3	B01-L-C4	B01-L-C5	B01-L-C6	Limite en cualquier momento
Pb	0.022	0.013	0.017	0.006	0.003	0.002	0.200
Cd	0.026	0.008	0.011	0.002	0.001	0.000	0.050
Fe	680.688	227.579	344.115	255.529	147.359	83.113	2.000
Zn	16.274	4.936	7.749	3.891	3.458	2.460	1.500

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 24: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 1



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

Los datos mostrados del mes 1 (campaña 6) y mes 2 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el lixiviado como son el Pb, Cd, Fe y Zn; esto debido a una absorción de las plantas en el proceso de fitorremediación con biotecnologías.

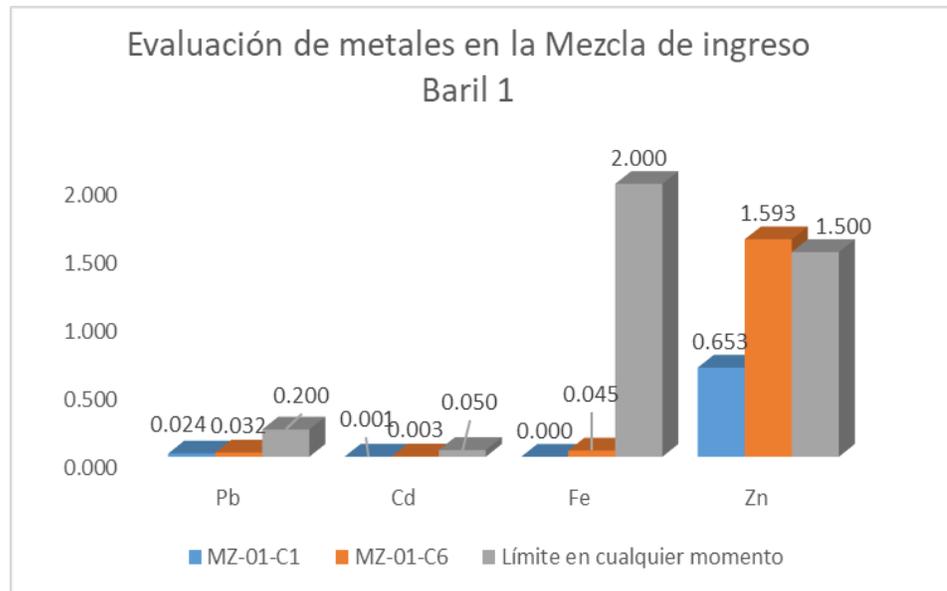
Tabla 9: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 1

AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - MEZCLA DE INGRESO

	MZ-01-C1	MZ-01-C2	MZ-01-C3	MZ-01-C4	MZ-01-C5	MZ-01-C6
Pb	0.024	0.037	0.020	0.128	0.126	0.032
Cd	0.001	0.004	0.002	0.005	0.006	0.003
Fe	0.000	3.257	0.124	0.034	0.056	0.045
Zn	0.653	1.419	1.078	2.017	2.230	1.593

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 25: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 1



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

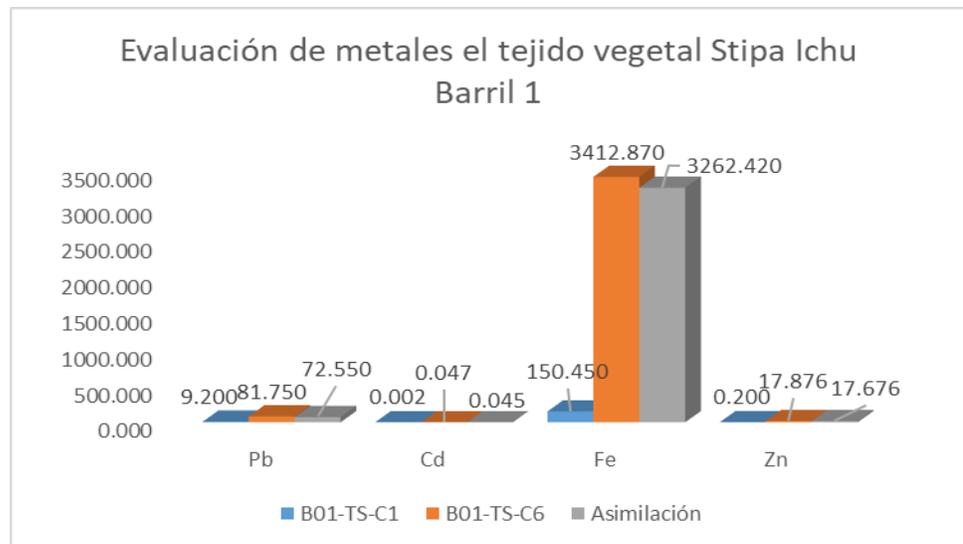
Los datos mostrados para el barril 1 indican que los metales señalados (Pb, Cd, Fe y Zn) están por debajo de los Lmps (barra ploma) lo que indica que la evaluación de metales en el ingreso al proceso no supera lo antes señalado.

Tabla 10: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 1

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - STIPA ICHU							
	B01-TS-C1	B01-TS-C2	B01-TS-C3	B01-TS-C4	B01-TS-C5	B01-TS-C6	Asimilación
Pb	9.200	23.710	38.220	52.730	67.240	81.750	72.550
Cd	0.002	0.010	0.026	0.029	0.036	0.047	0.045
Fe	150.450	389.650	1056.870	1438.743	2765.840	3412.870	3262.420
Zn	0.200	9.240	11.012	15.032	17.040	17.876	17.676

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 26: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 1



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

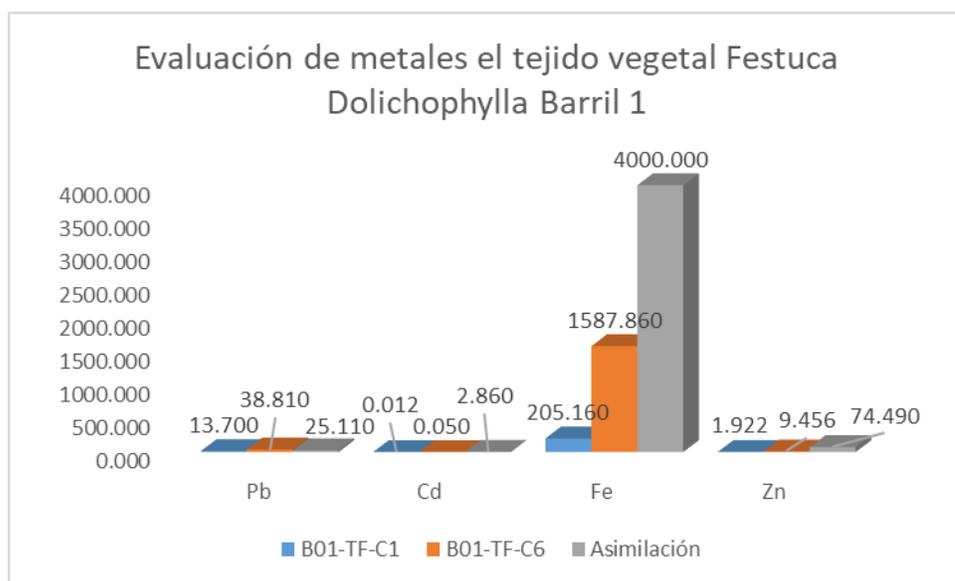
La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) señalan que la textura vegetal para la especie STIPA ICHU tienen una capacidad alta para cada uno de ellos, haciendo hincapié que el metal que mejor capacidad de absorción es el Fe mientras el de menor absorción es el Cd. Considero que la STIPA ICHU tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

Tabla 11: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 1

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - FESTUCA DOLICHOPHYLLA							
	B01-TF-C1	B01-TF-C2	B01-TF-C3	B01-TF-C4	B01-TF-C5	B01-TF-C6	Asimilación
Pb	13.700	18.722	23.744	28.766	33.788	38.810	25.110
Cd	0.012	0.023	0.029	0.035	0.048	0.050	2.860
Fe	205.160	390.870	624.650	887.650	1126.960	1587.860	4000.000
Zn	1.922	3.618	4.014	5.889	7.654	9.456	74.490

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 27: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 1

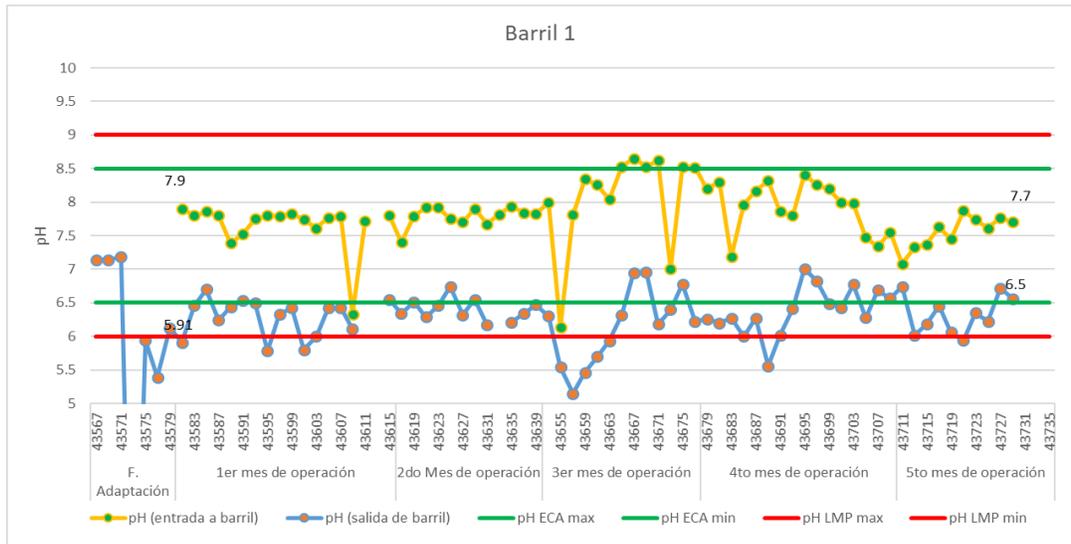


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) señalan que la textura vegetal para la especie FESTUCA DOLICHOPHYLLA tienen una capacidad alta para cada uno de ellos, haciendo hincapié que el metal que mejor capacidad de absorción es el Fe mientras el de menor absorción es el Cd. Considero que la FESTUCA DOLICHOPHYLLA tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

Ilustración 28: Evaluación de pH en el ingreso y salida del Barril1

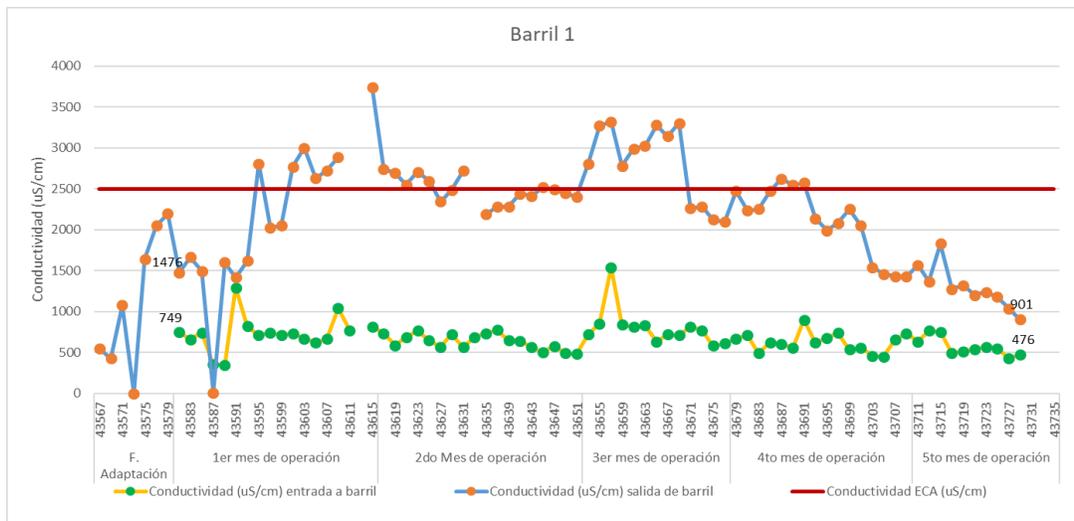


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 28 muestra que el diferencial de pH a lo largo del proceso es estadísticamente la misma. Señalar además que el 100% de los datos de pH están por debajo del Lmp (max) y solo el 12% de los mismos están por debajo del Lmp (min).

Ilustración 29: Evaluación de la conductividad en el ingreso y salida del Barril1

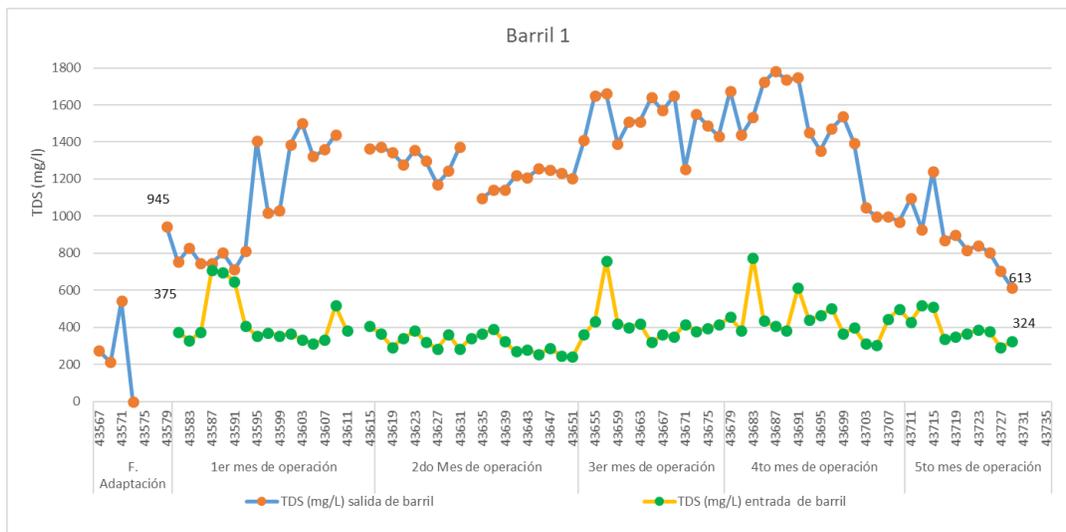


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 29 muestra que la Conductividad eléctrica al inicio del proceso señala datos pequeños lo que indica que es un agua con iones disueltos en cantidades pequeñas. Señalar además que a la salida del proceso se incrementa fuertemente la conductividad eléctrica por una mayor disolución de iones presentes; se indica también estadísticamente que el 30% de los datos salientes están por encima del ECA (los valores en promedio cercanos a valor del ECA)

Ilustración 30: Evaluación de TDs en el ingreso y salida del Barril1



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 30 muestra que el diferencial de los valores de TDs son iguales. El incremento del TDs en el proceso de salida señala un incremento promedio del 30% referido a carbonatos de calcio y magnesio.

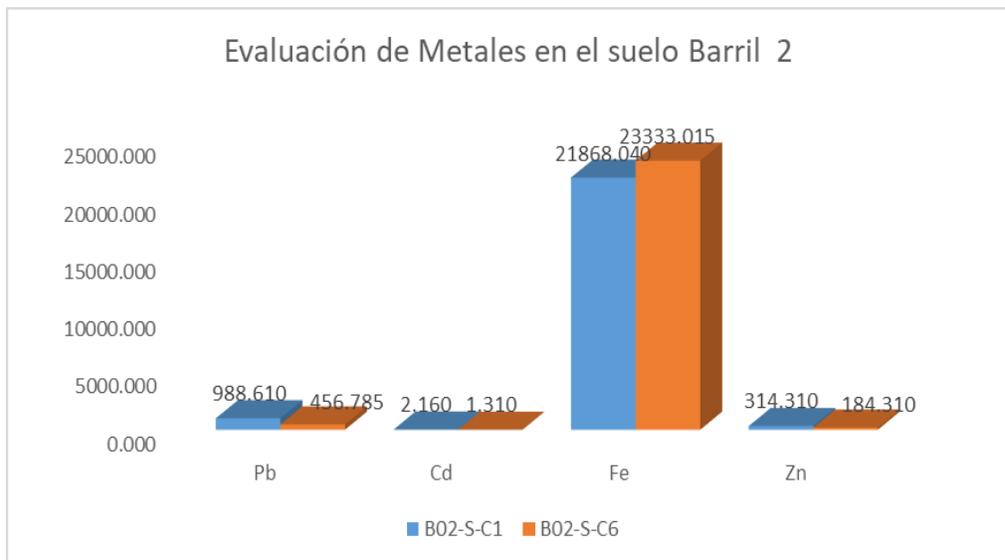
4.2.2.2. Monitoreo y control de barril 2

Tabla 12: Evaluación de metales en el suelo Barril 2

SUELO (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES						
	B01-S-C1	B01-S-C2	B01-S-C3	B01-S-C4	B01-S-C5	B01-S-C6
Pb	988.610	883.470	851.330	679.357	675.717	472.077
Cd	2.160	1.730	1.930	1.667	1.552	1.277
Fe	21868.040	22183.730	22093.420	22806.110	23618.800	23431.490
Zn	314.040	311.580	265.110	270.647	226.182	211.717

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 31 : Evaluación de metales en el suelo Barril 2



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

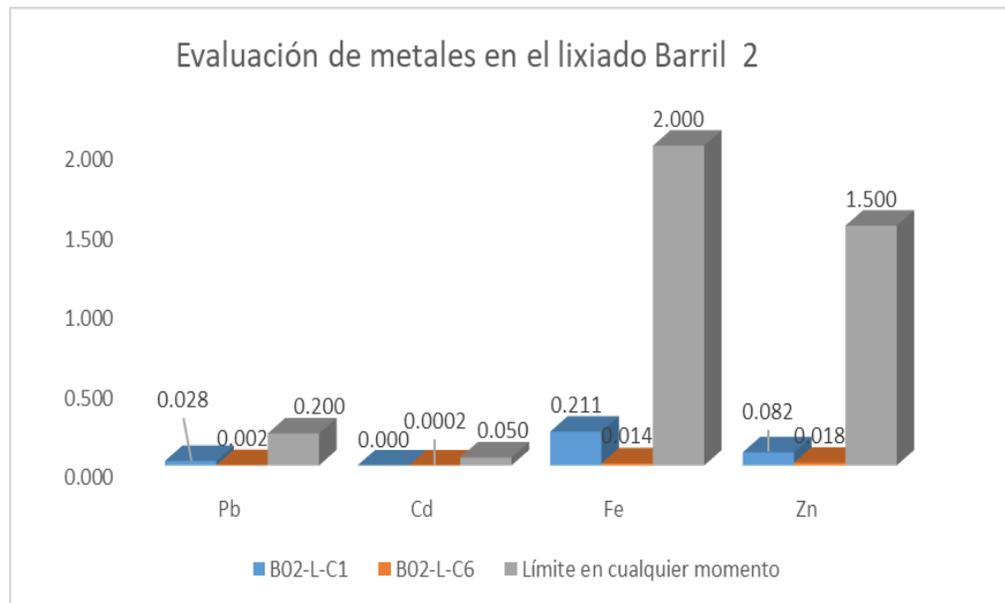
Los datos mostrados del mes 1 (campaña 1) y mes 6 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el suelo (como son el Pb, Cd y Zn); Observándose que la mayor cantidad de metales está referido al Fe.

Tabla 13: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 2

AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - LIIXIVIADO							DS 010-2010- MINAM Lmp
	B01-L-C1	B01-L-C2	B01-L-C3	B01-L-C4	B01-L-C5	B01-L-C6	Límite en cualquier momento
Pb	0.022	0.013	0.017	0.006	0.003	0.002	0.200
Cd	0.026	0.008	0.011	0.002	0.001	0.000	0.050
Fe	680.688	227.579	344.115	255.529	147.359	83.113	2.000
Zn	16.274	4.936	7.749	3.891	3.458	2.460	1.500

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 32: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 2



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

Los datos mostrados del mes 1 (campaña 1) y mes 6 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el lixiviado (como son el Pb, Cd, Fe y Zn); Observándose que la mayor cantidad de metales está referido al Fe.

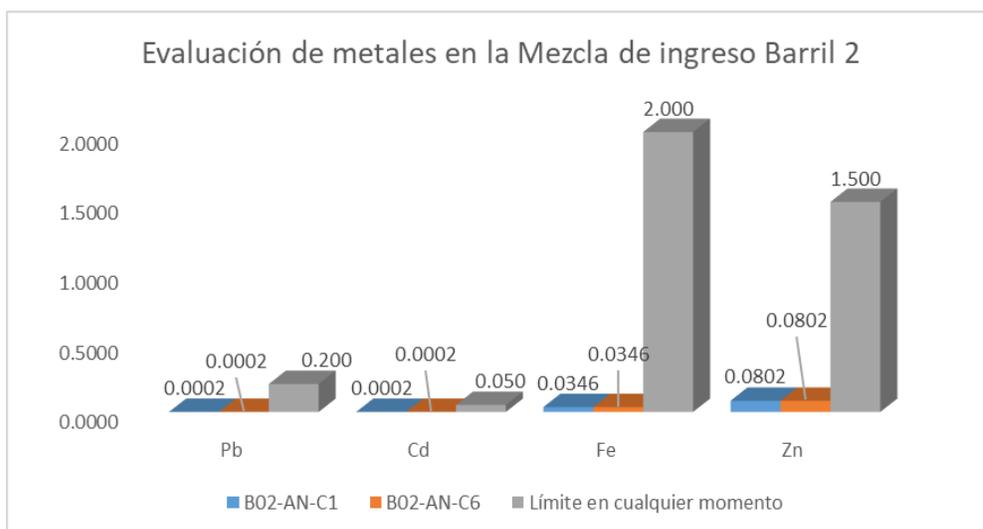
Tabla 14: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 2

AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - MEZCLA DE INGRESO

	MZ-01-C1	MZ-01-C2	MZ-01-C3	MZ-01-C4	MZ-01-C5	MZ-01-C6
Pb	0.024	0.037	0.020	0.128	0.126	0.032
Cd	0.001	0.004	0.002	0.005	0.006	0.003
Fe	0.000	3.257	0.124	0.034	0.056	0.045
Zn	0.653	1.419	1.078	2.017	2.230	1.593

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 33: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 2



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

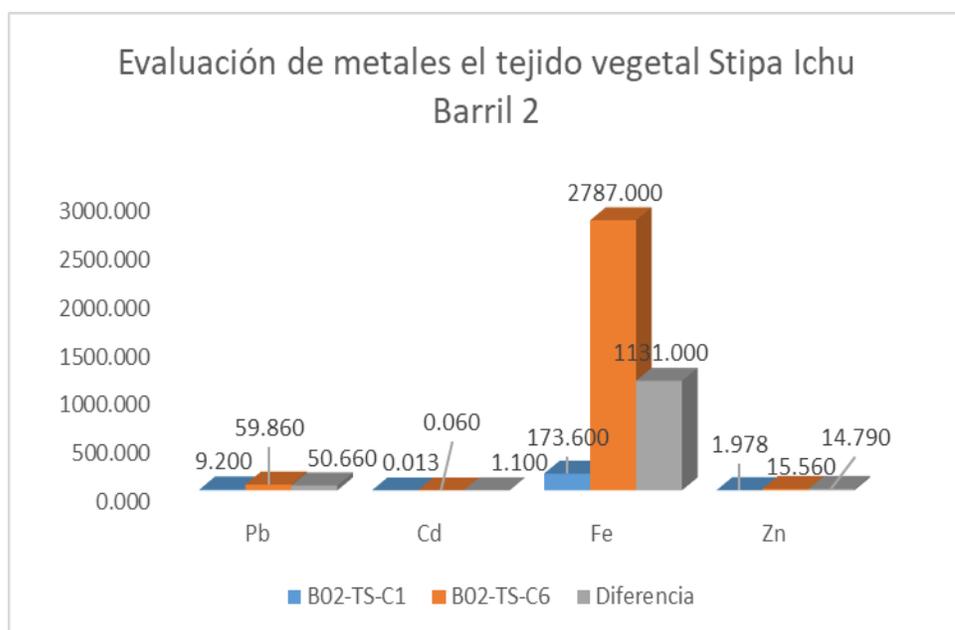
Los datos mostrados para el barril 2 indican que los metales señalados (Pb, Cd y Fe) están por debajo de los Lmps (barra ploma) lo que indica que la evaluación de metales en el ingreso al proceso no supera lo antes señalado salvo el metal Zn que supera los Lmps en un 6% en la última campaña (6).

Tabla 15: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 2

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - STIPA ICHU							
	B02-TS-C1	B02-TS-C2	B02-TS-C3	B02-TS-C4	B02-TS-C5	B02-TS-C6	Diferencia
Pb	9.200	19.332	29.464	39.596	49.728	59.860	50.660
Cd	0.013	0.019	0.027	0.042	0.049	0.060	1.100
Fe	173.600	303.460	489.756	786.650	1450.300	2787.000	1131.000
Zn	1.978	3.768	6.023	8.012	12.980	15.560	14.790

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 34: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 2



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) en la textura vegetal para la especie STIPA ICHU es el siguiente: 15% para el Pb, 22% para el Cd, 6% para el Fe y el 13% para el Zn. Considero que la STIPA ICHU tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

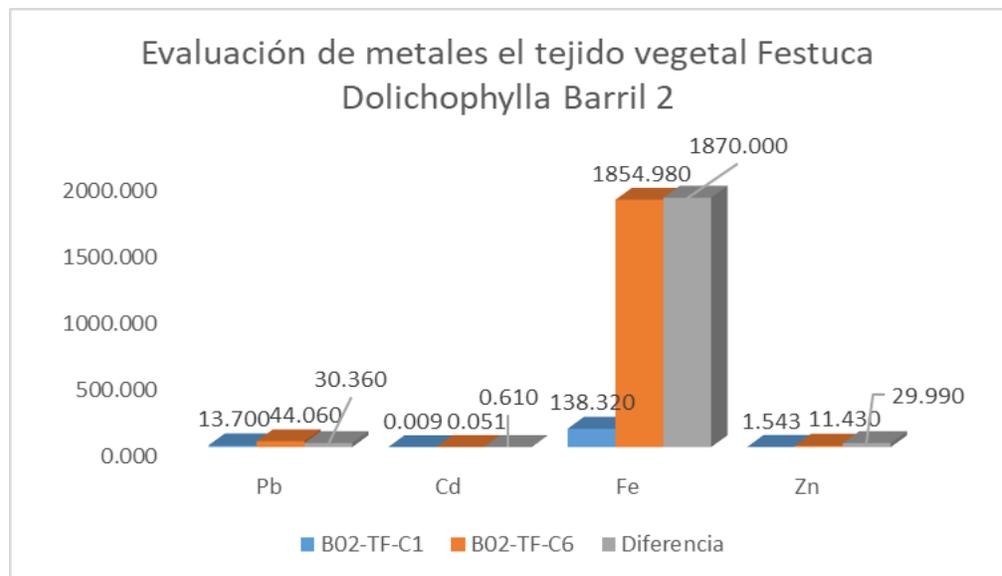
Tabla 16: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 2

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - FESTUCA DOLICHOPHYLLA

	B02-TF-C1	B02-TF-C2	B02-TF-C3	B02-TF-C4	B02-TF-C5	B02-TF-C6	Diferencia
Pb	13.700	19.772	25.844	31.916	37.988	44.060	30.360
Cd	0.009	0.017	0.029	0.035	0.048	0.051	0.610
Fe	138.320	438.430	570.930	1003.430	1435.930	1854.980	1870.000
Zn	1.543	5.009	6.834	8.012	9.972	11.430	29.990

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 35: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 2

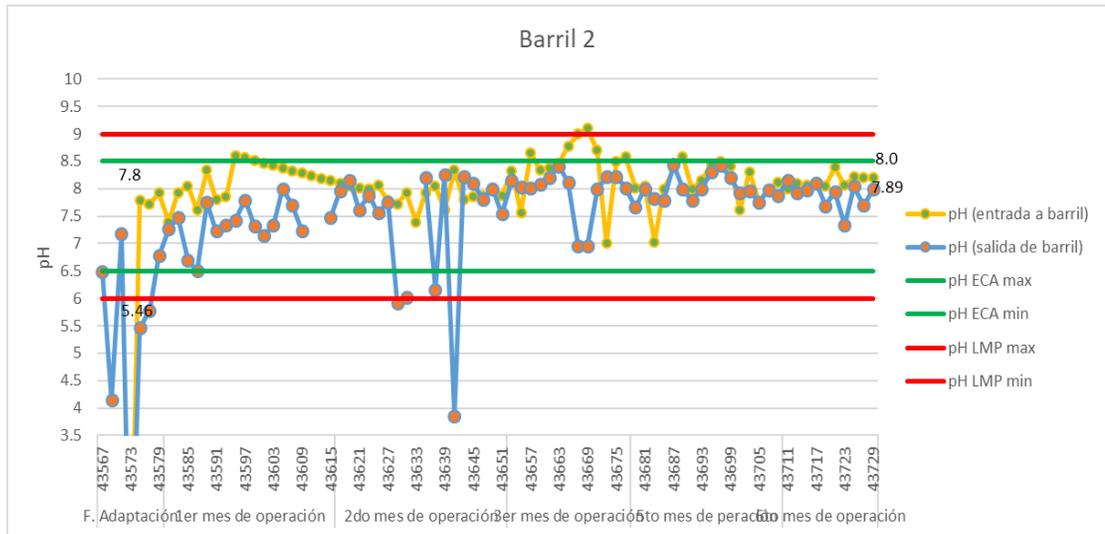


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) señalan que la textura vegetal para la especie FESTUCA DOLICHOPHYLLA tienen una capacidad alta para cada uno de ellos, haciendo hincapié que el metal que mejor capacidad de absorción es el Fe mientras el de menor absorción es el Cd. Considero que la FESTUCA DOLICHOPHYLLA tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

Ilustración 36: Evaluación de pH en el ingreso y salida del Barril 2

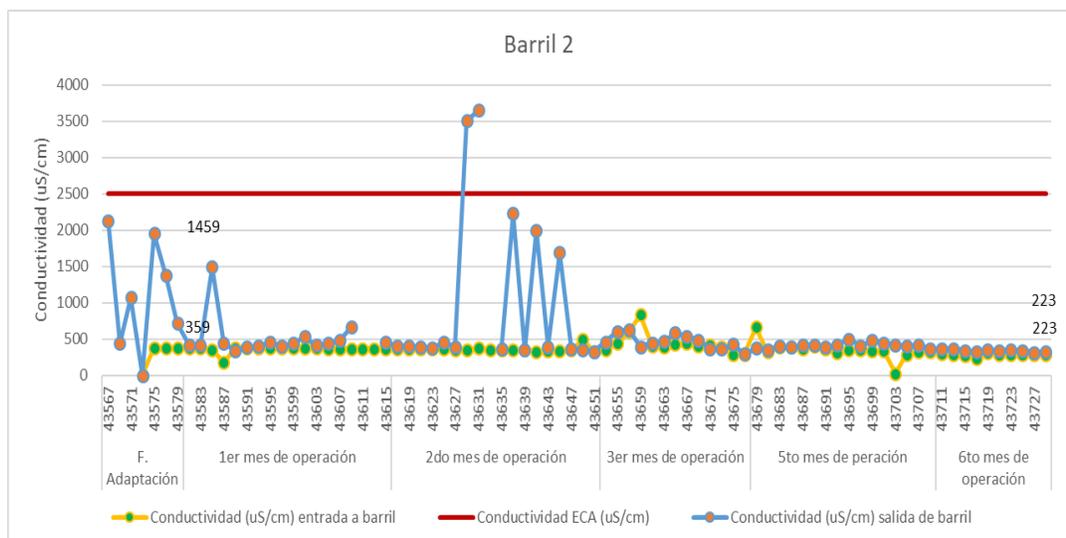


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 36 muestra que el diferencial de pH a lo largo del proceso es estadísticamente la misma. Señalar además que el 100% de los datos de pH están por debajo del Lmp (max) y solo el 12% de los mismos están por debajo del Lmp (min).

Ilustración 37: Evaluación de la conductividad en el ingreso y salida del Barril 2

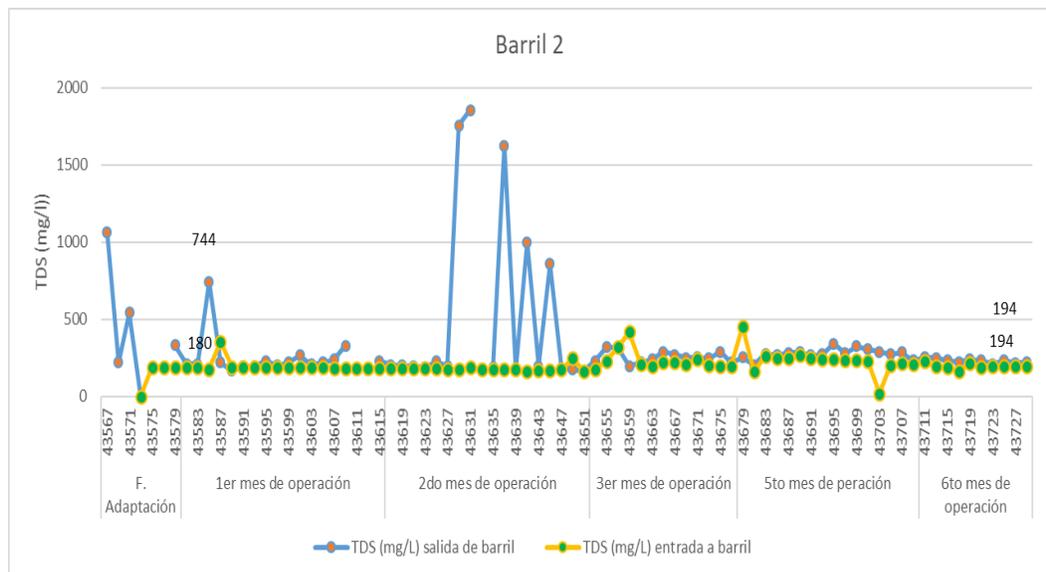


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 37 muestra que la Conductividad eléctrica al inicio del proceso señala datos pequeños lo que indica que es un agua con iones disueltos en cantidades pequeñas. Señalar además que a la salida del proceso se incrementa fuertemente la conductividad eléctrica por una mayor disolución de iones presentes; se indica también estadísticamente que el 30% de los datos salientes están por encima del ECA (los valores en promedio cercanos a valor del ECA)

Ilustración 38: Evaluación de TDs en el ingreso y salida del Barril 2



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 38 muestra que el diferencial de los valores de TDs son iguales. El incremento del TDs en el proceso de salida señala un incremento promedio del 30% referido a carbonatos de calcio y magnesio.

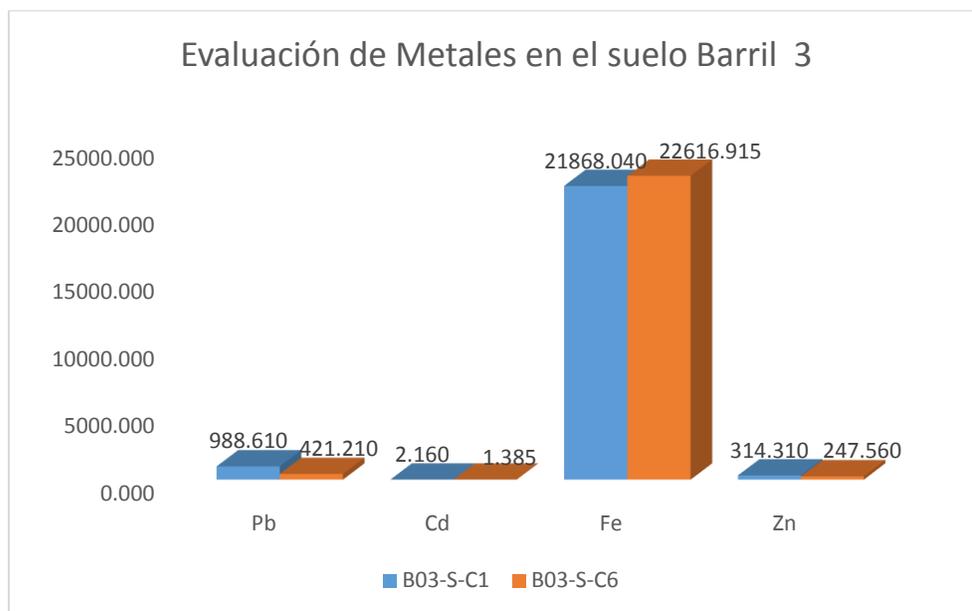
4.2.2.3. MONITOREO Y CONTROL DE BARRIL 3

Tabla 17: Evaluación de metales en el suelo Barril 3

SUELO (mg/kg PS) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES						
	B03-S-C1	B03-S-C2	B03-S-C3	B03-S-C4	B03-S-C5	B03-S-C6
Pb	988.610	875.130	761.650	648.170	534.690	421.210
Cd	2.160	2.110	1.790	1.730	1.510	1.385
Fe	21868.040	22157.815	22247.590	22300.365	22627.140	22616.915
Zn	314.310	300.960	311.610	294.260	270.910	247.560

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 39: Evaluación de metales en el suelo Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

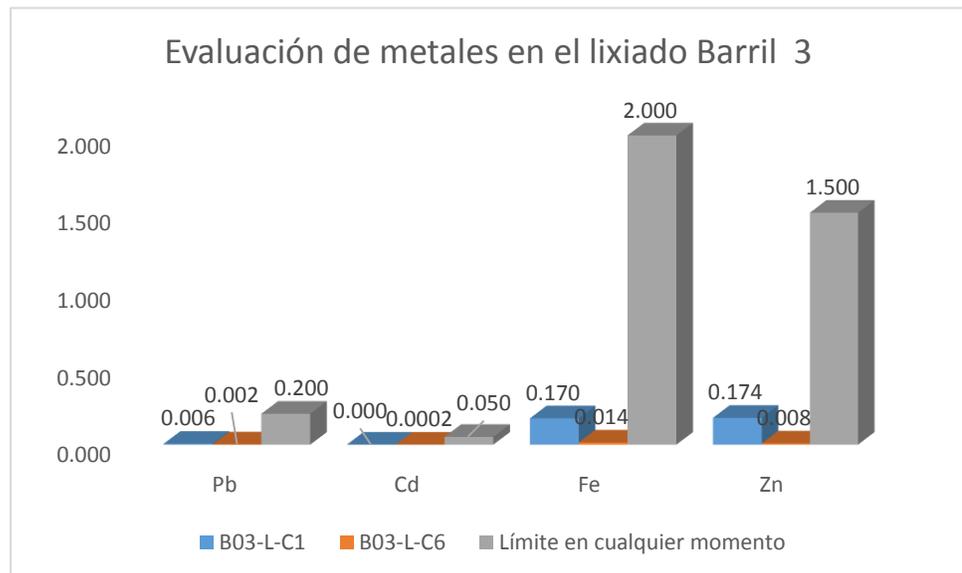
Los datos mostrados del mes 1 (campaña 1) y mes 6 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el suelo como son el Pb, Cd y Zn; esto debido a una absorción de las plantas utilizando proceso de fitorremediación adecuado.

Tabla 18: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 3

	AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - LIIXIVIADO						DS 010-2010- MINAM Lmp
	B03-L-C1	B03-L-C2	B03-L-C3	B03-L-C4	B03-L-C5	B03-L-C6	Límite en cualquier momento
Pb	0.006	0.003	0.003	0.006	0.002	0.002	0.200
Cd	0.000	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.050
Fe	0.170	0.157	0.069	0.098	0.027	0.014	2.000
Zn	0.174	0.008	0.028	0.019	0.010	0.008	1.500

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 40: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

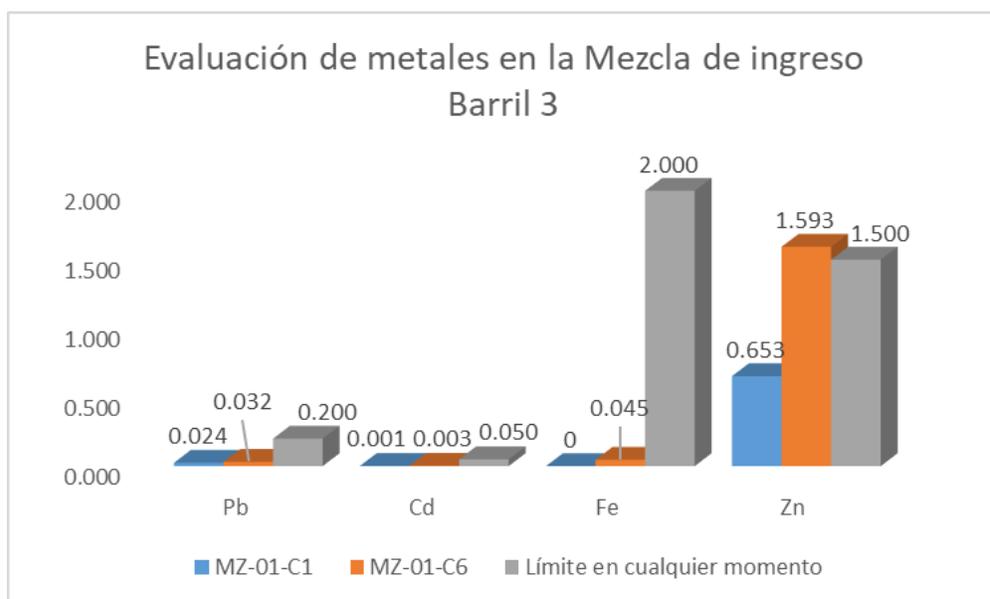
Los datos mostrados del mes 1 (campaña 1) y mes 6 (campaña 6) indican la disminución de la presencia de metales en el lixiviado como son el Pb, Cd, Fe y Zn; esto debido a una absorción de las plantas en el proceso de fitorremediación con biotecnologías.

Tabla 19: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 3

AGUA (mg/L) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - MEZCLA DE INGRESO							DS 010-2010-MINAM Lmp
	MZ-01-C1	MZ-01-C2	MZ-01-C3	MZ-01-C4	MZ-01-C5	MZ-01-C6	Límite en cualquier momento
Pb	0.024	0.037	0.020	0.128	0.126	0.032	0.200
Cd	0.001	0.004	0.002	0.005	0.006	0.003	0.050
Fe	0	3.257	0.124	0.034	0.056	0.045	2.000
Zn	0.653	1.419	1.078	2.017	1.474	1.593	1.500

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 41: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

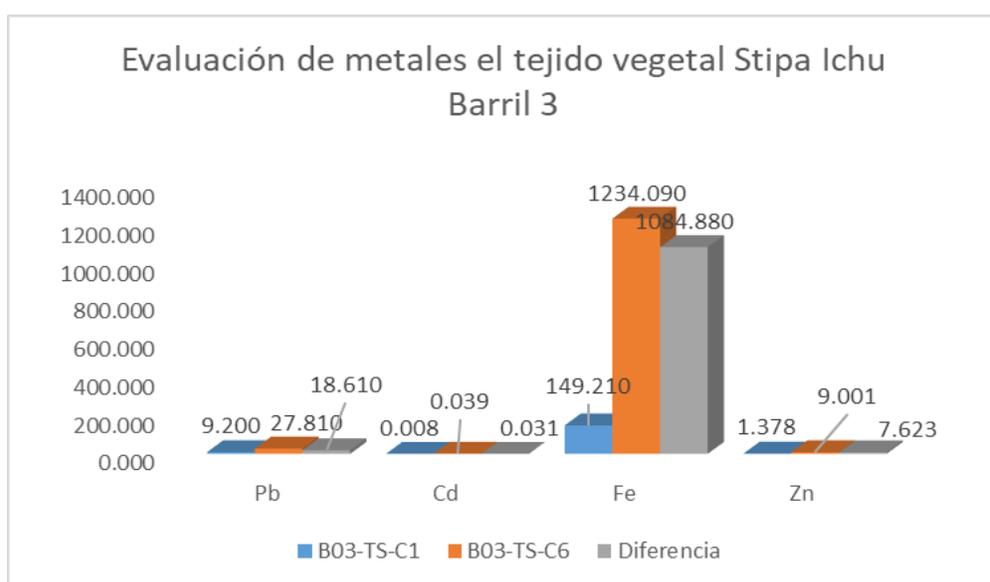
Los datos mostrados para el barril 1 indican que los metales señalados (Pb, Cd, Fe y Zn) están por debajo de los Lmps (barra ploma) lo que indica que la evaluación de metales en el ingreso al proceso no supera lo antes señalado.

Tabla 20: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 3

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - STIPA ICHU							
	B03-TS-C1	B03-TS-C2	B03-TS-C3	B03-TS-C4	B03-TS-C5	B03-TS-C6	Diferencia
Pb	9.200	12.922	16.644	20.366	24.088	27.810	18.610
Cd	0.008	0.010	0.019	0.028	0.030	0.039	0.031
Fe	149.210	266.540	401.340	523.830	872.980	1234.090	1084.880
Zn	1.378	1.906	3.708	5.038	6.865	9.001	7.623

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 42: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) señalan que la textura vegetal para la especie STIPA ICHU tienen una capacidad alta para cada uno de ellos, haciendo hincapié que el metal que mejor capacidad de absorción es el Fe mientras el de menor absorción es el Cd. Considero que la STIPA ICHU tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

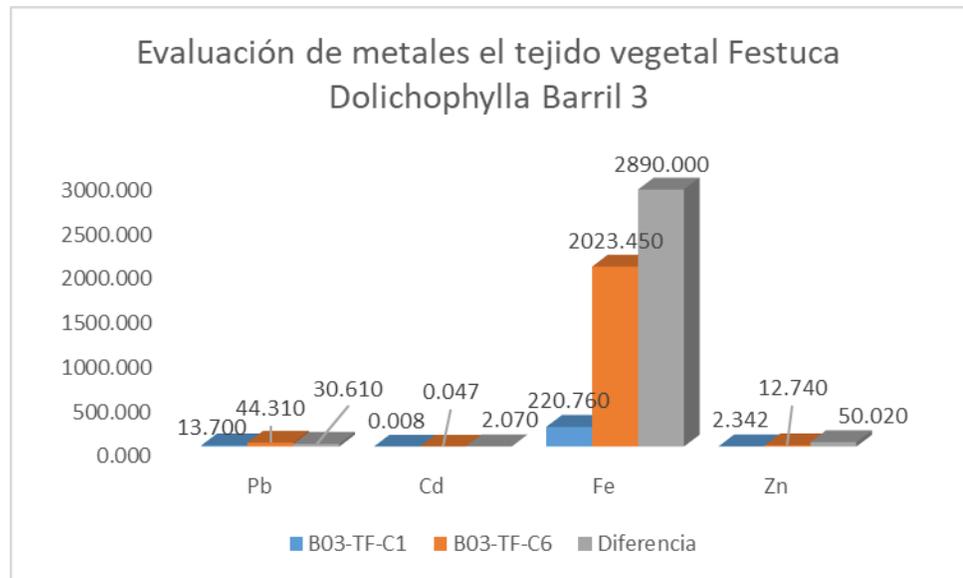
Tabla 21: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 3

TEJIDO VEGETAL (mg/kg) - Analisis de Metales-Metales Totales por ICP-OES - FESTUCA DOLICHOPHYLLA

	B03-TF-C1	B03-TF-C2	B03-TF-C3	B03-TF-C4	B03-TF-C5	B03-TF-C6	Diferencia
Pb	13.700	19.822	25.944	32.066	38.188	44.310	30.610
Cd	0.008	0.019	0.027	0.032	0.039	0.047	2.070
Fe	220.760	402.400	702.850	924.990	1502.990	2023.450	2890.000
Zn	2.342	5.006	6.908	9.020	10.345	12.740	50.020

Fuente: Propias de la autora.

Ilustración 43: Evaluación de metales en la festuca dolichophylla Barril 3

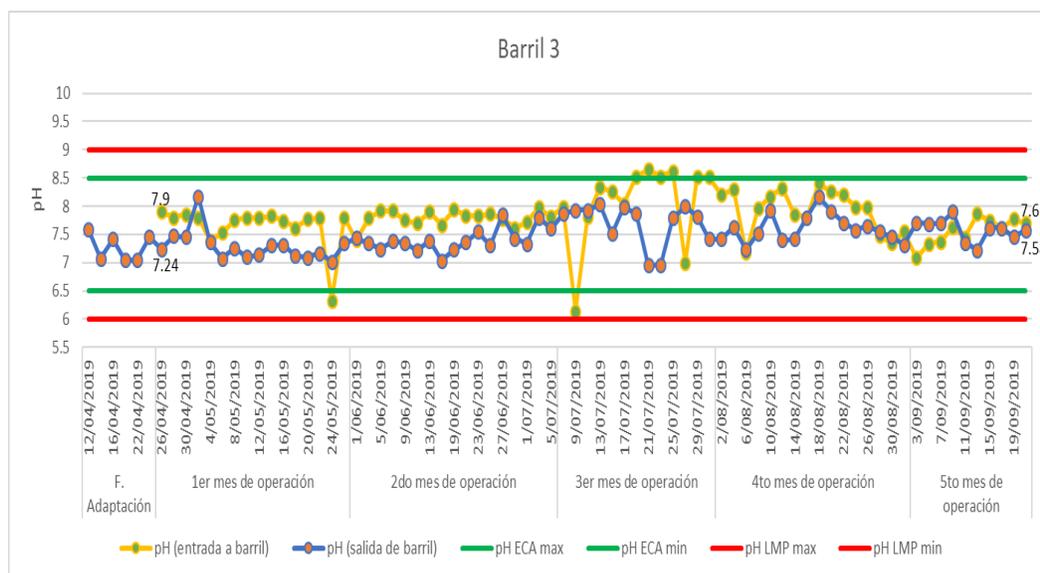


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La absorción de los metales (Pb, Cd, Fe y Zn) señalan que la textura vegetal para la especie FESTUCA DOLICHOPHYLLA tienen una capacidad alta para cada uno de ellos, haciendo hincapié que el metal que mejor capacidad de absorción es el Fe mientras el de menor absorción es el Cd. Considero que la FESTUCA DOLICHOPHYLLA tiene una gran performance para el Fe de acuerdo a los datos mostrados.

Ilustración 44: Evaluación de pH en el ingreso y salida del Barril 3

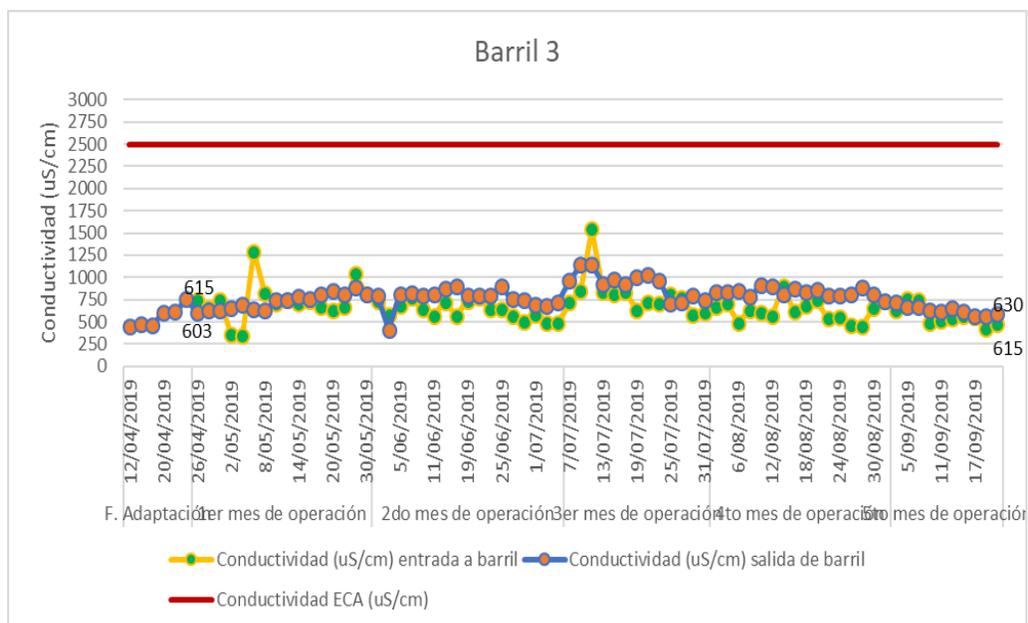


Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 44 muestra que el diferencial de pH a lo largo del proceso es estadísticamente la misma. Señalar además que el 100% de los datos de pH del Lmp (max) y del Lmp (min) están por debajo.

Ilustración 45: Evaluación de la conductividad en el ingreso y salida del Barril 3



Fuente: Propias de la autora.

Interpretación:

La ilustración N° 45 muestra que la Conductividad eléctrica tanto al inicio como en el final del proceso señala datos pequeños lo que indica que es un agua con iones disueltos en cantidades pequeñas (los valores en promedio están por debajo del ECA).

Tabla 22: Evaluación del NPK Barril 1(experimental)

Control del NPK (mg/kg)- Barril 1						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
N	2781.481	2245.570	1183.647	2416.680	3849.713	4882.746
P	8.100	7.300	5.800	7.800	7.500	9.200
K	0.770	1.140	113.220	238.650	380.700	452.260

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 23: Evaluación del NPK Barril 2

Control del NPK (mg/kg) - Barril 2						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
N	1718.593	196.465	2223.546	3814.365	407.760	4882.746
P	7.500	7.980	8.340	8.700	9.010	9.200
K	0.770	50.070	178.930	286.400	345.860	459.500

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 24: Evaluación del NPK Barril 3 (de control)

Control del NPK (mg/kg) - Barril 3						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
N	3916.748	3999.865	4179.161	4356.876	4677.988	4882.746
P	6.600	7.160	7.600	8.150	8.900	9.200
K	0.770	110.700	187.560	270.720	362.657	421.500

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 25: Evaluación del crecimiento Stipa Ichu Barril 1

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 1 - STIPA ICHU	
B01-CS-C1	28.000
B01-CS-C2	33.700
B01-CS-C3	38.200
B01-CS-C4	41.600
B01-CS-C5	46.800
B01-CS-C6	51.300

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 26: Evaluación del crecimiento Festuca Dolichophylla Barril 1

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 1 - FESTUCA DOLICHOPHYLLA	
B01-CF-C1	24.000
B01-CF-C2	26.900
B01-CF-C3	29.800
B01-CF-C4	31.700
B01-CF-C5	35.600
B01-CF-C6	39.500

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 27: Evaluación del crecimiento Stipa Ichu Barril 2

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 2 - STIPA ICHU	
B02-CS-C1	27.000
B02-CS-C2	32.500
B02-CS-C3	38.300
B02-CS-C4	39.200
B02-CS-C5	41.600
B02-CS-C6	43.900

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 28: Evaluación del crecimiento Festuca Dolichophylla Barril 2

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 2 - FESTUCA DOLICHOPHYLLA	
B02-CF-C1	24.000
B02-CF-C2	25.200
B02-CF-C3	27.100
B02-CF-C4	28.900
B02-CF-C5	30.500
B02-CF-C6	36.700

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 29: Evaluación del crecimiento Stipa Ichu Barril 3

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 3 - STIPA ICHU	
B03-CS-C1	29.000
B03-CS-C2	34.500
B03-CS-C3	37.600
B03-CS-C4	40.700
B03-CS-C5	44.800
B03-CS-C6	52.700

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 30: Evaluación del crecimiento Festuca Dolichophylla Barril 3

Crecimiento de la planta (cm)- Barril 3 - FESTUCA DOLICHOPHYLLA	
B03-CF-C1	25.000
B03-CF-C2	27.200
B03-CF-C3	28.300
B03-CF-C4	32.000
B03-CF-C5	36.700
B03-CF-C6	42.800

Fuente: Propias de la autora.

4.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alterna (H_1): $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

Siendo: G.l. = n-1

$$t_{\text{Obtenido}} = \frac{X_{\text{obtenido}} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

n: tamaño de la muestra

X: Media muestral

μ : Media poblacional

S: Desviación estándar

$$t_{\text{Crítico}} = \text{Valor obtenido de la tabla t-Student}$$

t_{Obtenido} = Cálculo a partir de los datos de la muestra.

$t_{\text{Crítico}}$ = Valor de tabla con n-1 grados de libertad

Relación mejorada:

Si $|t_{\text{Obtenido}}| \geq |t_{\text{Crítico}}|$, entonces se **rechaza la hipótesis nula (H_0)**; y por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna H_1 .

4.3.1. Hipótesis 1

H₀: El análisis positivo de la tolerancia del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla para metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn no permite evaluar correctamente su asimilación.

H₁: El análisis positivo de la tolerancia del Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla para metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn si permite evaluar correctamente su asimilación.

Elemento Pb (Tabla N°8: Evaluación de metales en la mezcla de Ingreso Barril 1 y Tabla N°7: Evaluación de metales en el lixiviado Barril 1)

$$T_{obtenido} = 62.5$$

$$t_{critico} = 2.57$$

Conclusión: La evaluación indica que $T_{obtenido} = |62.5| \geq t_{critico} = |2.57|$ por lo tanto **se acepta H₁**.

4.3.2. Hipótesis 2

H₀: Si analizamos los efectos de bioestimulación que se dan para sustratos contaminados no es posible determinar cuáles son los nutrientes adicionados en este proceso de fitorremediación

H₁: Si analizamos los efectos de bioestimulación que se dan para sustratos contaminados si es posible determinar cuáles son los nutrientes adicionados en este proceso de fitorremediación

Análisis del Nitrógeno: Tabla N°22: Evaluación del NPK Barril 1 (experimental) y Tabla N°24: Evaluación del NPK Barril 3 (de control)

$$T_{obtenido} = -34.89$$

$$t_{critico} = 2.57$$

Conclusión: La evaluación indica que $T_{\text{obtenido}} = |-34.89| \geq t_{\text{crítico}} = |2.57|$ por lo tanto **se acepta H_1** .

4.3.3. Hipótesis 3

H₀: La medición adecuada de la relación entre indicadores químicos y biológicos no permite la utilización óptima en la degradación de relaves mineros presentes en Quiulacocha.

H₁: La medición adecuada de la relación entre indicadores químicos y biológicos si permite la utilización óptima en la degradación de relaves mineros presentes en Quiulacocha.

Análisis del pH: Ilustración N°28: Evaluación de pH en el ingreso y salida del Barril1.

$$T_{\text{obtenido}} = 48.064$$

$$t_{\text{crítico}} = 2.57$$

Conclusión: La evaluación indica que $T_{\text{obtenido}} = |48.064| \geq t_{\text{crítico}} = |2.57|$ por lo tanto **se acepta H_1** .

4.3.4. Hipótesis 4.

H₀: La correcta medida de efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando el Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla no mejora las técnicas de rehabilitación ambiental.

H₁: La correcta medida de efectividad de adsorción del Pb, Cd, Fe y Zn utilizando el Stipa Ichu y la Festuca Dolichophylla si mejora las técnicas de rehabilitación ambiental.

Análisis de La efectividad de adsorción: Tabla N°9: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 1 e Ilustración N°42: Evaluación de metales en la Stipa Ichu Barril 3

$$T_{\text{obtenido}} = 41.50$$

$$t_{\text{critico}} = 2.57$$

Conclusión: La evaluación indica que $T_{\text{obtenido}} = |41.50| \geq t_{\text{critico}} = |2.57|$ por lo tanto **se acepta H_1** .

4.4. Discusión de resultados

Evaluación de la absorción de metales

Para las siguientes tablas (de la 31 a la 36) se realizó el cálculo con la siguiente formula (1) para las dos especies: (Stipa Ichu – Festuca Dolichophylla)

$$Abs.Met = \frac{Abs. Met. Tejido Vegetal (mg/kg)}{Crecimiento de la planta (cm)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Tabla 31: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Stipa Ichu) Barril 1

Absorción de metales en la STIPA ICHU - Barril 01						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.329	0.704	1.001	1.268	1.437	1.594
Cd	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Zn	0.007	0.274	0.288	0.361	0.364	0.348
Fe	5.373	11.562	27.667	34.585	59.099	66.528

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 32: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Festuca Dolichophylla) Barril 1

Absorción de metales en la FESTUCA DOLICHOPHILLA - Barril 01						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.571	0.696	0.797	0.907	0.949	0.983
Cd	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Zn	0.080	0.134	0.135	0.186	0.215	0.239
Fe	8.548	14.530	20.961	28.002	31.656	40.199

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 33: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Stipa Ichu) Barril 2

Absorción de metales en la STIPA ICHU - Barril 02						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.341	0.595	0.769	1.010	1.195	1.364
Cd	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe	6.430	9.337	12.787	20.068	34.863	63.485
Zn	0.073	0.116	0.157	0.204	0.312	0.354

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 34: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Festuca Dolichophylla) Barril 2

Absorción de metales en la FESTUCA DOLICHOPHILLA - Barril 02						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.571	0.785	0.954	1.104	1.246	1.201
Cd	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
Fe	5.763	17.398	21.068	34.721	47.080	50.544
Zn	0.064	0.199	0.252	0.277	0.327	0.311

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 35: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Stipa Ichu) Barril 3

Absorción de metales en la STIPA ICHU - Barril 03						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.317	0.375	0.443	0.500	0.538	0.528
Cd	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe	5.145	7.726	10.674	12.871	19.486	23.417
Zn	0.048	0.055	0.099	0.124	0.153	0.171

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 36: Evaluación de Absorción de metal/tamaño de planta (Festuca Dolichophylla) Barril 3

Absorción de metales en la FESTUCA DOLICHOPHILLA - Barril 03						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.548	0.729	0.917	1.002	1.041	1.035
Cd	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe	8.830	14.794	24.836	28.906	40.953	47.277
Zn	0.094	0.184	0.244	0.282	0.282	0.298

Fuente: Propias de la autora.

Pb: Al inicio del proceso de absorción, la Festuca Dolichophylla (tabla N° 32 – C1) demuestra mayor capacidad de absorción de Pb con respecto a la Stipa Ichu (tabla N° 31 – C1).

Pasado los 6 meses, sin embargo, la mayor absorción de Pb ahora lo tiene el Stipa Ichu (tabla N° 31 – C6), podría ser por procesos de saturación en su textura además del tamaño de la planta.

Cd: Al inicio del proceso de absorción la Festuca Dolichophylla (tabla N° 32 – C1) demuestra mayor capacidad de absorción de Cd con respecto a la Stipa Ichu.

Pasado los 6 meses, se mantiene el mayor poder de absorción del Cd en la Festuca Dolichophylla (tabla N° 32 – C6) sobre la Stipa Ichu (tabla N° 31 – C6).

Fe: Al inicio del proceso de absorción la Festuca Dolichophylla (tabla N° 32 – C1) demuestra mayor capacidad de absorción de Fe con respecto a la Stipa Ichu (tabla N° 31 – C1).

Pasado los 6 meses, sin embargo, la mayor absorción de Fe ahora lo tiene el Stipa Ichu (tabla N° 31 – C6), podría ser por procesos de saturación en su textura además del tamaño de la planta.

Zn: Al inicio del proceso de absorción la Festuca Dolichophylla (tabla N° 32 – C1) demuestra mayor capacidad de absorción de Zn con respecto a la Stipa Ichu (tabla N° 31 – C1).

Pasado los 6 meses, sin embargo, la mayor absorción de Zn ahora lo tiene el Stipa Ichu (tabla N° 31 – C6), podría ser por procesos de saturación en su textura además del tamaño de la planta.

Evaluación de pH – Cond. Elec. - TDS

El pH para este proceso se direcciona a medio alcalino ($\text{Ph}_{\text{Salida}} = 5.91$ – C1 – Ilustración N°28) respecto ($\text{Ph}_{\text{Salida}} = 6.50$ – C6 – Ilustración N°28) lo que indica un decrecimiento de cationes.

La Cond. Elec. Para este proceso indica ($\text{C.E.}_{\text{Salida}} = 1476 \text{ uS/cm}$ – C1 – Ilustración N°29) respecto ($\text{C.E.}_{\text{Salida}} = 901 \text{ uS/cm}$ – C6 – Ilustración N°29) lo que indica un decrecimiento para la presencia de iones.

El TDS. para este proceso indica ($\text{TDS}_{\text{Salida}} = 945 \text{ ppm}$ – C1 – Ilustración N°30) respecto ($\text{TDS}_{\text{Salida}} = 613 \text{ ppm}$ – C6 – Ilustración N°30) lo que indica un decrecimiento de la dureza de la solución (disminución de carbonatos de calcio y magnesio).

“La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la CE. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m^{-1} ($1+5 \text{ v/v}$). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo. Por este motivo al formular un sustrato, se debe analizar la CE de los componentes para evaluar el porcentaje a utilizar en la mezcla sin elevar la CE final del sustrato formulado. En la tabla 3 se presenta el valor de la CE de muestras de algunos componentes”. *Lorena A. Barbaro, Monica A. Karlanian y Diego A. Mata. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas.*

Del párrafo citado puedo concluir que:

- A mayor Conductividad eléctrica mayor será la Concentración de sales y a menor Conductividad eléctrica mayor es la fertilización de los suelos.
- El incremento de iones negativos está referido a valores de N-P-K.
- El incremento de valores de N-P-K favorece el desarrollo y tamaño de la planta como está demostrado para las especies Stipa Ichu y Festuca Dolichophylla en mi investigación.

Evaluación del N-P-K

De la tabla N° 22 los valores de N-P-K son como sigue:

- Valor de $N_I = 2781.48$ respecto al $N_F = 4882.746$ demuestra un aumento del nitrógeno en la solución.
- Valor de $P_I = 8.100$ respecto al $P_F = 9.200$ demuestra un aumento del fósforo en la solución.
- Valor de $K_I = 0.770$ respecto al $K_F = 452.260$ demuestra un aumento del potasio en la solución.

De todo ello se puede concluir que las plantas tienen una mayor cantidad de nutrientes que pueden absorber (demostrado en el crecimiento que han tenido el Stipa Ichu y la Festuca Dolivhophylla)

Evaluación de absorción de metales en (%)

Para las siguientes tablas (de la 37 a la 42) se realizó el cálculo con la siguiente fórmula (2) para las dos especies: (Stipa Ichu – Festuca Dolichophylla)

$$Abs.Met(\%) = \frac{Abs.Met. Tejido Vegetal (mg/kg)}{Abs.Met. suelo (mg/kg)} * 100 \text{ Ecuación 2}$$

Tabla 37: Evaluación de metales en (%) en la especie Stipa Ichu Barril 1

Absorción de metales (%) STIPA ICHU - Barril 1						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.93%	2.68%	4.49%	7.76%	9.95%	17.32%
Cd	0.09%	0.58%	1.35%	1.74%	2.32%	3.68%
Fe	0.69%	1.76%	4.78%	6.31%	11.71%	14.57%
Zn	0.06%	2.97%	4.15%	5.55%	7.53%	8.44%

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 38: Evaluación de metales en (%) en la especie Festuca Dolichophylla Barril 1

Absorción de metales (%) FESTUCA DOLICHOPHYLLA - Barril 1						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	1.39%	2.12%	2.79%	4.23%	5.00%	8.22%
Cd	0.56%	1.33%	1.50%	2.10%	3.09%	3.92%
Fe	0.94%	1.76%	2.83%	3.89%	4.77%	6.78%
Zn	0.61%	1.16%	1.51%	2.18%	3.38%	4.47%

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 39: Evaluación de metales en (%) en la especie Stipa Ichu Barril 2

Absorción de metales (%) STIPA ICHU - Barril 2						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.93%	2.19%	3.80%	5.91%	8.83%	13.10%
Cd	0.60%	0.94%	1.48%	2.71%	3.53%	4.58%
Fe	0.79%	1.36%	2.17%	3.48%	6.23%	11.94%
Zn	0.63%	1.23%	1.99%	3.13%	5.64%	8.44%

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 40: Evaluación de metales en (%) en la especie Festuca Dolichophylla Barril 2

Absorción de metales (%) FESTUCA DOLICHOPHYLLA - Barril 2						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	1.39%	2.24%	3.33%	4.77%	6.75%	9.65%
Cd	0.42%	0.84%	1.59%	2.24%	3.45%	3.89%
Fe	0.63%	1.96%	2.53%	4.44%	6.17%	7.95%
Zn	0.49%	1.63%	2.26%	3.13%	4.33%	6.20%

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 41: Evaluación de metales en (%) en la especie Stipa Ichu Barril 3

Absorción de metales (%) STIPA ICHU - Barril 3						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	0.93%	1.48%	2.19%	3.14%	4.51%	6.60%
Cd	0.37%	0.49%	1.06%	1.60%	1.99%	2.82%
Fe	0.68%	1.20%	1.80%	2.35%	3.86%	5.46%
Zn	0.44%	0.63%	1.19%	1.71%	2.53%	3.64%

Fuente: Propias de la autora.

Tabla 42: TEvaluación de metales en (%) en la especie Festuca Dolichophylla Barril 3

Absorción de metales (%) FESTUCA DOLICHOPHYLLA - Barril 3						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Pb	1.39%	2.27%	3.41%	4.95%	7.14%	10.52%
Cd	0.37%	0.90%	1.49%	1.85%	2.58%	3.39%
Fe	1.01%	1.82%	3.16%	4.15%	6.64%	8.95%
Zn	0.75%	1.66%	2.22%	3.07%	3.82%	5.15%

Fuente: Propias de la autora.

- Pb:** Al inicio del proceso de absorción, la Festuca Dolichophylla (tabla N° 38 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.93% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 17.32% lo que demuestra un incremento de 17 veces respecto al valor inicial.
- Al inicio del proceso de absorción, la Stipa Ichu (tabla N° 37 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.56% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 8.22% lo que demuestra un incremento de 16 veces respecto al valor inicial.
- Cd:** Al inicio del proceso de absorción, la Festuca Dolichophylla (tabla N° 38 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.56% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 3.92%% lo que demuestra un incremento de 7 veces respecto al valor inicial.

Al inicio del proceso de absorción, la *Stipa Ichu* (tabla N° 37 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.09% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 3.68% lo que demuestra un incremento de 40 veces respecto al valor inicial.

Fe: Al inicio del proceso de absorción, la *Festuca Dolichophylla* (tabla N° 38 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.94% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 6.78% lo que demuestra un incremento de 6.8 veces respecto al valor inicial.

Al inicio del proceso de absorción, la *Stipa Ichu* (tabla N° 37 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.69% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 14.57% lo que demuestra un incremento de 21.1 veces respecto al valor inicial.

Zn: Al inicio del proceso de absorción, la *Festuca Dolichophylla* (tabla N° 38 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.61% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 4.47% lo que demuestra un incremento de 7.4 veces respecto al valor inicial.

Al inicio del proceso de absorción, la *Stipa Ichu* (tabla N° 37 – C1) demuestra un valor porcentual de 0.06% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 8.44% lo que demuestra un incremento de 140 veces respecto al valor inicial.

CONCLUSIONES

- Para la primera hipótesis: El análisis positivo de la tolerancia del *Stipa lchu* (Pb incrementa 5 veces la absorción de C1 a C6; Cd incrementa 9 veces la absorción de C1 a C6; Fe incrementa 12 veces la absorción de C1 a C6 y el Zn incrementa 48.5 veces la absorción de C1 a C6), mientras que la *Festuca Dolichophylla* (Pb incrementa 7 veces la absorción de C1 a C6; Cd incrementa 2 veces la absorción de C1 a C6; Fe incrementa 5 veces la absorción de C1 a C6 y el Zn incrementa 3 veces la absorción de C1 a C6), demostrándose que la asimilación de metales se ha evaluado correctamente.
- Para la segunda hipótesis: los efectos de la bioestimulación que se han dado para sustratos contaminados demuestran que los valores de N-P-K en la solución han incrementado sus valores (Nitrógeno, 43% de C1 a C6; Fosforo, 12% de C1 a C6; Potasio, 99% de C1 a C6) lo que demuestra que los nutrientes presentes mejoran la textura de las especies señaladas.
- Para la tercera hipótesis: la relación entre indicadores químicos (pH, C. E. y TDS) y biológicos (textura de planta) ha permitido la degradación de relaves mineros presentes en Quiulacocha; señalado en la Hipótesis 1 de la conclusión.
- Para la cuarta hipótesis: la efectividad de adsorción utilizando el *Stipa lchu* (Pb, 17.32% en C6; Cd, 3.68% en C6; Fe, 14.6% en C6 y Zn, 8.44% en C6); la *Festuca Dolichophylla* (Pb, 8.22% en C6; Cd, 3.92% en C6; Fe,

6.78% en C6 y Zn, 4.47% en C6); lo que ha permitido una mejorara en la relavera Quiulacocha.

- Para el proceso, se puede concluir que los efluentes adyacentes a la relavera Quiulacocha (aguas cloacales provenientes de la población de Pasco y aguas acidas provenientes de la mina) en el tiempo son difíciles de sostener debido a la variación de concentración de metales que presenta.
- El análisis químico para los metales: Pb, Cd, Fe y Zn utilizando el equipo ICP demuestra que el error es muy pequeño y sus datos confiables.
- Las técnicas y procedimientos ejecutados a lo largo del desarrollo de la tesis me han permitido mejorar la investigación en procesos de fitorremediación y el trabajo de campo como planes de cierre.

RECOMENDACIONES

- La gran cantidad de metales presentes en las aguas residuales provenientes de la mina y la población de Pasco, no me ha permitido hacer un análisis de cada una de ellas, por lo que recomiendo que mi trabajo de investigación se ha utilizado como fuente para futuras investigaciones.
- Es posible que puedan utilizarse para la absorción de metales otras plantas Fitorremediadoras, teniendo en cuenta la adaptabilidad al medio.
- Las facilidades para la revisión bibliográfica, artículos científicos no son las mejores debido a que la biblioteca de la UNDAC no cuenta con este tipo de bibliografía especializada por lo que recomiendo actualizarla.
- Los análisis para evaluación de metales utilizando el ICP son costosos y han sido financiados por la empresa ACTIVOS MINEROS S.A.C. sin embargo considero que la escuela de ingeniería ambiental debería tener presupuestos que solventen a los estudiantes en este tipo de investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

- Agudelo Betancur, L. M., Macias Mazol, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. (2005).** *Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos.* *Revista lasallista de investigación, 2, 57-60.*
- Bunge, Mario, (1985).** *La Ciencia su Método y su Filosofía.* Buenos Aires Argentina, Ediciones Siglo Veinte.
- Calduch, Dr. Rafael (2014)** *Métodos y técnicas de investigación internacional-Versión revisada y actualizada.* Madrid, 2014)
- Carpena, R., & Bernal, M. P. (2007).** *Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos.* *Ecosistemas, 16 (2).*
- Doménech, X. (1995).** *La Química del Suelo. El impacto de los contaminantes,* Ed. Mirahuano- Madrid.
- Ernst, W. H. O. (2000).** *Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation.* *New Phytol 146, 357-357.*
- <http://www.ambientum.com/diccionario/listado/diccionario.asp?letra=a>
- M.P. Bernal, R. C. (2007).** *Aplicación de fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados Aznalcóllar.* *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, 67-76.*
- Mcgrath, S.P, Lombi, E. Zhao, F.J, & Dunhan, S.J. (2001).** *Phytoremediation of heavy metals- Contaminated Soils: Natura Hyperaccumulation versus Chemical Industry.* Elsevier applied Science.London. En: *Pineda H. Presencia de Hongos Micorrizicos Arbusculares y Contribución de Glomus intradarices en la absorción y traslocación*

de cinc y cobre en girasol (Helianthus annuus L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis (2004).

MINEM, (2018). *“Perú: Cartera de Proyecto de Construcción de Mina 2018, Ed 1° marzo 2018. MINEM, Anuario Minero, varios años.*

Oblasser Angela y **Chaparro** Eduardo. (2008). *Estudio Comparativo de la Gestión de los Pasivos Ambientales en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. Santiago de Chile 2008. 13*

Russell, Bertrand, 1983. *El Conocimiento Humano. Buenos Aires, Argentina, Ediciones Siglo Veinte. Capítulo I*

Singh, O.V., S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja y R.K. Jain. (2003). *Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination From Soil. 57 Applied Microbiology and Biotechnology. 61: 405-412. En: Sierra V. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. Tesis. México*

Volke S. T., **Velasco** T. J, (2002). *Tecnología de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).*

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS



Ilustración: certificado de Acreditación por Inacal al Laboratorio



Pág. 1/3

INFORME DE ENSAYO No. 45694L/19-MA

CUENTE	: ACTIVOS MINEROS S.A.C.
DIRECCIÓN	AV. PROLOGACION PEDRO MOTA NRO. 421 Z.L. SAN JUAN DE MIRAFLORES (DENTRO DE LAS INSTALAC. DE ELECTROPERU) LIMA - LIMA - SAN JUAN DE MIRAFLORES
PRODUCTO	: Tejidos
MATRIZ	: Tejido Vegetal
NÚMERO DE MUESTRAS	: 5
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Bolsas plásticas
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No Aplica
FECHA DE MUESTREO	: 2019-04-15
LUGAR DE MUESTREO	: SIMON BOLIVAR - PASCO - PASCO
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Picolo Quilacocha
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2019-04-19
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2019-04-19
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2019-04-27
ORDEN DE SERVICIO	: OS.L-19-04053

Callao, 02 de Mayo de 2019

Inspección Técnica Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company


DR. DANY L. VALLE ALVARADO
C.P. 181884
SUPERVISOR DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE



BUREAU
VERITAS

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



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 4

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 68704L/19-MA

ORGANISMO ADREDITADO	: INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN	: N°LE - 031
CLIENTE	: ACTIVOS MINEROS S.A.C.
DIRECCIÓN	AV. PROLOGACION PEDRO MOTA NRO. 421 Z.I. SAN JUAN DE MIRAFLORES (DENTRO DE LAS INSTALAC. DE ELECTROPERU) LIMA - LIMA - SAN JUAN DE MIRAFLORES
PRODUCTO	: Suelos
MATRIZ	: Suelos
NÚMERO DE MUESTRAS	: 55
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico (boca ancha)
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No Aplica
FECHA DE MUESTREO	: 2019-04-12
LUGAR DE MUESTREO	: SIMON BOLIVAR - PASCO - PASCO
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Píloto Guilaoccha
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2019-04-19
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2019-04-19
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2019-04-29
ORDEN DE SERVICIO	: OSL-19-04053

Callao, 17 de Junio de 2019

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

RAUL EVELIN P. OMBRECONA
C.U.P. 18228

Jefe de Laboratorio Medio Ambiente

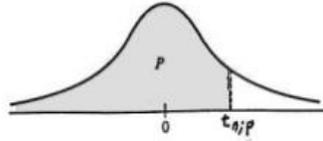
Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se refieren solamente con los datos suministrados a análisis y cualquier declaración aplica a resultados en caso el laboratorio sea responsable de este.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
*"valor" significa el cuantitativo mejor al límite de cuantificación indicado.
*"valor" significa el cuantitativo superior al límite mínimo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los analitos pesados los tiempos de entrega de resultados en el laboratorio que muestra el análisis. Este tiempo varía hasta 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central: 51 (1) 319-5100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com

PROCEDIMIENTO DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Tabla N°43: Tabla de la distribución t de student

Distribución t de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n;p}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n;p}) = p.$$

n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(*)Cromo Hexavalente Dis	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500 Cr-B, 23rd Ed. 2017. Chromium; Colorimetric Method
Cromo Hexavalente (VI)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500 Cr-B, 23rd Ed. 2017. Chromium; Colorimetric Method
pH	EPA Method 150.1.1999.pH (Electrometric), Approved for NPDES (Editorial Revision)
(*)Temperatura	EPA Method 170.1 1999. Temperature (Thermometric)Approved for NPDES(issued 1974).
Conductividad Específica	EPA Method 120.1 1999 Conductance, Specific Conductance
Sólidos Totales Disueltos	EPA Method 160.1 1999 Residue, Filterable (Gravimetric, Dried at 180 °C)
Sólidos Totales Suspendedos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
(*)Acidez	EPA Method 305.1 1999. Acidity(Titrimetric).
Alcalinidad por Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017. Alkalinity: Trtitration Method.
(*)Aniones(Bromuro,Cloruro,Fluoruro,Fosfato,Fósforo Fosfato,Nitrito,Nitrógeno Nitrito,Nitrato,Nitrógeno Nitrato Nitrógeno	EPA Method 300.1 Rev 1. 1999. Determination of Inorganic Anions In Drinking Water By Ion Chromatography.
METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP MS: Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co ,Cu, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Tl, Th, U, V, Zn. METALES TOTALES Y DISUELTOS VALIDADOS: B, P, Sr, Li, Bi, Na, Ca, Ti, Sn, Ce, Mg, Fe, K.	EPA Method 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry
(*)METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP MS: Si.	EPA 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARI	Agua residual industrial

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

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

(¹) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera de la acreditación otorgada por INACAL-DA debido a que la muestra no es idónea para el ensayo: por exceder el tiempo máximo de conservación.

(²) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA para la matriz indicada.

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(*)Densidad Aparente	NCh1116 EOf. 77 Sec. 9.1 Aridos para morteros y hormigones. Determinación de la densidad aparente
(*)Nitrógeno Orgánico Total	NMX-AA-026-SCFI-2010
(*)Fosforo Disponible	NOM-021-RECNAT-2000. Item 7.1.10 AS-10 (Segunda Sección). 2002. Determinación de Fósforo Disponible.
(*)Conductividad Eléctrica	NOM-021-RECNAT-2000. Item 7.2.5 AS-18 (Segunda Sección). 2002. Medición de la Conductividad Eléctrica.
pH	EPA 9045D Rev4. 2004. Soil and Waste Ph.
(*)Potasio Disponible	Referencia: USAID/Lima; Cap B, Pag. 12; Determinación de Potasio Disponible; Analisis de suelos, tejidos vegetales, aguas y fertilizantes; Instituto de investigación agraria Manual No 18-93, Diciembre 1993.
(*)Materia Orgánica	NOM-021-RECNAT-2000. Item 7.1.7 AS-07 (Segunda Sección). 2002. Determinación de Materia Orgánica.
(*)Capacidad de Intercambio Cationico y Cationes Intercambiables	NOM-021-RECNAT-2000. Item 7.1.12 AS-12 (Segunda Sección). 2002. Determinación de Capacidad de Intercambio Cationico y Cationes Intercambiables (Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio) en Suelos Neutros
(*)Textura	PLMA 021 Procedimiento de Determinación de Textura Versión 01, fecha 24/03/2017.
(*)Carbonato de Calcio (Calcareo Total)	NOM-021-RECNAT-2000. Item 7.3.25 AS-29 (Segunda Sección). 2002. Determinación de Carbonatos de Calcio.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
SU	Suelos

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

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

MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
(*)Metales	EPA 3050B Rev. 2 - 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils. EPA 6020B Rev. 2 - July 2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
VEG	Tejido Vegetal

NOTAS

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA.

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en ejercicio de las atribuciones conferidas por Ley N° 30224, Ley de Creación del INACAL, y conforme al Reglamento de Organización y Funciones del INACAL, aprobado por DS N° 004-2015-PRODUCE y modificado por DS N° 008-2015-PRODUCE, **OTORGA** la presente Renovación de la Acreditación a:

INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.

En su calidad de **Laboratorio de Ensayo**

Con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, para el alcance de la acreditación contenido en el formato DA-acr-05P-17F, facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial.

Sede Acreditada: Av. Elmer Faucett N° 444, distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao.

Fecha de Renovación: 02 de junio de 2015

Fecha de Vencimiento: 02 de junio de 2019

Registro N° LE - 031

Fecha de emisión: 07 de setiembre de 2015

DA-acr-01P-02M Ver. 00



Augusto Mello Romero

Director - Dirección de Acreditación

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N°1: Monitoreo de parámetros diarios, MZ-01



Fotografía N° 2: Recolección de muestras de agua



Fotografía N°3: *Preservación de muestras de agua.*



Fotografía N°4: *Vista panorámica del Barril 3 (enfoco en las especies) Campaña 6*



Fotografía 5: Vista panorámica del Barril 2 (enfoco en las especies) Campaña 6



Fotografía 6: Vista panorámica del Barril 1 (enfoco en las especies) Campaña 6



Fotografía 7: Vista panorámica de la relavera y laguna Quiulacocha



Fotografía 8: Lixiviado del barril N° 1



Fotografía 9: *Empaquetado de muestras de tejid Vegetal*



Fotografía 10: *Monitoreo de tamaño de especies*



Fotografía 11: Selección de muestras de suelo barril 1



Fotografía 12: Etiquetado de muestras de suelo



Fotografía 13: Selección de muestras de suelo barril 2



Fotografía 14: Selección de muestras de suelo barril 3



Fotografía 15: *Empaquetado de muestras de suelo.*



Fotografía 16: *Recolección de muestras de suelo barril 1*



Fotografía 17: Recolección de muestras de tejido vegetal barril

1



Fotografía 18: Recolección de muestras de tejido vegetal barril

3



Fotografía 19: vista panorámica del Barril 1 (enfoque en las especies) Campaña 1



Fotografía 20: vista panorámica del Barril 2 (enfoque en las especies) Campaña 1



Fotografía 21: vista panorámica del Barril 3 (enfoco en las especies) Campaña 1