

**UNIVERSIDAD NACIONAL “DANIEL ALCIDES CARRION”
FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE
FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA
AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION DE LOS SUELOS
DE LA LAGUNA DE YANAMATE EMPLEANDO LA
TECNOLOGIA DE LA FITORREMEDIACION 2016”**

**PROYECTO DE TESIS:
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR: Bach. July Estefany Picoy Santiago

CERRO DE PASCO, MAYO DEL 2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL “DANIEL ALCIDES CARRION”
FACULTAD DE INGENIERIA**

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION DE LOS SUELOS DE LA
LAGUNA DE YANAMATE EMPLEANDO LA TECNOLOGIA DE LA
FITORREMEDIACION 2016“**

PRESENTADO POR: Bach. July Estefany Picoy Santiago

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL
SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS**

**Dr. Magno, LEDESMA VELITA
PRESIDENTE**

**Mg. Lucio, ROJAS VITOR
MIEMBRO - JURADO**

**Mg. Luis Alberto, PACHECO PEÑA
MIEMBRO - JURADO**

**Rommel Luis LOPEZ ALVARADO
ASESOR**

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi familia quienes han sido parte fundamental en mi vida y siempre han sido un gran ejemplo, a mis profesores por sus enseñanzas. Sin la constancia y el apoyo de todos ustedes esto hoy no sería posible.

ÍNDICE

RESUMEN	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Importancia del problema	9
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.3. OBJETIVOS: GENERALES Y ESPECÍFICOS	12
1.4. JUSTIFICACIÓN	13
1.5. LIMITACIONES	17
CAPITULO II	18
MARCO TEORICO	18
2.1. ANTECEDENTES	18
2.2. MARCO DE REFERENCIA	28
2.3. Naturaleza del Estándar de Calidad Ambiental para suelo	34
2.4. Definición y campo de aplicación de la biorremediación	36
2.5. Recuperación de los suelos. Técnicas de fitorremediación.	40
2.6. Ubicación del Proyecto:	47
2.7. La Laguna Yanamate:	49
2.8. Hipótesis.....	57
2.9. Variables.....	58
CAPITULO III	59
METODOS Y MATERIALES DE INVESTIGACION	59
3.1. Diseño de investigación.....	59
3.2. Metodología de la Investigación	59
3.3. Población y muestra	71
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	72
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	73
3.6. Tratamiento estadístico	73

CAPITULO IV	74
RESULTADO Y DISCUSIONES.....	74
4.1. Condición Actual del Suelo de la Laguna Yanamate, en los Puntos de Muestreo.	74
4.2. Resultados de los Monitoreo realizados al ambiente de la Laguna De Yanamate.	80
4.3. Disponibilidad de Adaptabilidad de la Stipa Ichu en el Suelo Contaminado de la Laguna Yanamate.	88
4.4. Comprobación de la Hipótesis	92
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA	96

RESUMEN

La laguna Yanamate, se ve afectada producto del vertimiento de aguas residuales de la actividad minera, el cual viene produciéndose desde muchos años, lo que ha provocado la alteración de la calidad del agua y del suelo, con cantidades considerables de metales, sales, etc., que constituyen uno de los principales contaminantes ambientales sujetos a una mayor investigación e intervención.

Como consecuencia también se puede ver los efectos que genera en la salud de las personas por ser ahora un ambiente altamente contaminado con metales, muchos de ellos caso por ejemplo del plomo puede causar efectos de su acumulación progresiva. Como también en las plantas y animales que son expuestas a este ambiente.

Para prevenir el problema de los vertimientos industriales de las empresas mineras, la legislación de nuestro país, obliga a restaurar dichos suelos mediante acciones de remediación que permitan extraer, controlar, contener o reducir los contaminantes de un área determinada. Dentro de ello una de las tecnologías existentes para ello, es la fitorremediación, que permite la utilización de plantas, en el proceso de mejoramiento de suelos se presenta como una técnica emergente que permite reducir los costes de tratamiento.

INTRODUCCION

El suelo que conforma la laguna Yanamate, se define generalmente como el área de amortiguamiento y colindante con el cuerpo de agua, la capa superior de la corteza terrestre, que rodea el perímetro de las aguas, el cual está constituida por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos.

La interrelación de los diferentes componentes del suelo de Yanamate y los distintos componentes y factores que participan en su formación (la roca o material original, el clima, los seres vivos, etc.), hacen del suelo un medio extremadamente complejo y variable que constituye la base funcional de todos los ecosistemas terrestres, resultando tan esencial para las sociedades humanas como el aire y el agua.

Entre las funciones que desempeña el suelo, éste actúa como una barrera natural en el control del transporte de elementos físicos, químicos y biológicos, que pueden generar cambios importantes en la atmósfera, la hidrosfera y la biota. Sin embargo, su carácter de recurso no renovable (por su formación extremadamente lenta) y la difícil, y también por la lenta recuperación de los suelos degradados, producen cambios en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres que pueden trascender a los medios naturales de la laguna Yanamate.

La contaminación de suelos por metales pesados y la formación de sales, constituye uno de los factores graves problemas en la degradación de los suelos, identificados en el marco legislativo de nuestro país, es por ello que se ha establecido los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, Establecido según el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Importancia del problema

Los suelos de la laguna Yanamate son espacios estructurados por componentes físicos, químicos y biológicos que interactúan entre sí y tienen como función lograr el equilibrio, y que proporcionar los servicios imprescindibles para el hombre. Muchos de los servicios ecosistémicos que brinda el suelo constituyen la base funcional para los diferentes factores de vida de los diferentes componentes que cuenta el suelo, como la cadena de valor importante que sustentan las actividades económicas de la región Pasco y del país.

Sin embargo, sufren presiones que ponen en peligro su funcionamiento y sustentabilidad. En las últimas décadas, el aumento de los casos de impactos ambientales producidos por la actividad minera a lo largo de la región Pasco y del Perú, se ha traducido en una preocupación creciente sobre la manera como se desarrolla y controla esta actividad. Los daños a la integridad y funcionamiento de los ecosistemas y a la salud de las personas.

Esto debido a causas por una deficiente planificación y evaluación previa, por condiciones técnicas inadecuadas de las operaciones y del tratamiento de los productos minerales y desechos, y por el mal manejo de los pasivos ambientales de origen minero y la falta de cumplimiento de los planes de cierre, ha permitido identificar una serie de vacíos y debilidades legales en la regulación de la actividad minera, que en muchos casos, permiten una larga estela de destrucción y deterioro irreparable de ecosistemas.

En los últimos años se han incrementado los estudios e investigaciones relacionados al tratamiento y manejo de las condiciones físico, química y biológica del suelo, alrededor de nuestra región y nuestro país; esto debido a varios factores de contaminantes que presentan, como la presencia de metales pesados, acidez, suelos salinos y por el contenido de hidrocarburos, etc. composición que no permiten las funciones que se realiza en el suelo.

En hoy en día existen diversas tecnologías que se pueden utilizar para poder restaurar y mejorar la calidad del suelo de la laguna de Yanamate. En el presente estudio propongo el método de la fitorremediación.

También es necesario conocer la hidrología, bioquímica, fauna y flora de la laguna de Yanamate, cuantificar su valor social y económico, además de la normalización de aspectos de tipo legal.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la situación actual de los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo superficial de la Laguna de Yanamate, para determinar los factores que han permitido la pérdida de su calidad ambiental y el proceso de restauración y mejoramiento utilizando la tecnología de la fitormediación que se le debe realizar para mejorar las condiciones ambientales actuales que se tienen y para lograr su aprovechamiento en el futuro?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo realizar la identificación y describir las condiciones ambientales actuales del suelo superficial de la Laguna Yanamate para determinar los componentes físicos, químicos y biológicos?

¿Sera posible utilizar la tecnología de la fitorremediación para realizar la restauración y mejorar la calidad del suelo y devolverle las condiciones ambientales para su aprovechamiento futuro?

¿Qué, medidas se debe establecer y aplicar para la conservación, manejo y utilización sustentable de los recursos naturales de la laguna de Yanamate?

1.3. OBJETIVOS: GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar cuál es la situación actual de los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo superficial de la Laguna de Yanamate, para determinar los factores que permitan el mejoramiento de su calidad ambiental y proponer el proceso de fitorremediación para realizar la restauración y mejoramiento, que se le debe realizar para mejorar las condiciones ambientales actuales que se tienen y para lograr su aprovechamiento en el futuro.

1.3.2. Objetivos específicos

Identificar y describir las condiciones ambientales actuales del suelo superficial de la Laguna Yanamate para determinar los componentes físicos, químicos y biológicos.

Proponer la tecnología de la fitorremediación para que nos permita restaurar y mejorar la calidad del suelo y devolverle las condiciones ambientales para su aprovechamiento futuro.

Establecer medidas para la conservación, manejo y utilización sustentable de los recursos naturales de la laguna de Yanamate.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene un sustento desde la base normativa legal:

A. Constitución Política del Perú

Que, el numeral 22 del artículo 2° establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

B. Ley General del Ambiente

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el

cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley.

C. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

El artículo 31° de la Ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

D. Ministerio del Ambiente

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, este Ministerio tiene como función específica elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), que deberán contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados o modificados mediante Decreto Supremo.

E. Política Nacional del Ambiente

Aprobada mediante Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, consigna entre los Lineamientos de Política del Eje 2: Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, referidos al control integrado de la contaminación, el de contar con parámetros de contaminación para el control y mantenimiento de la calidad del aire, agua y suelo.

F. Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP)

Mediante Resolución Ministerial N° 225-2012-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el Período 2012-2013, estando programada la elaboración del ECA para Suelo.

G. La Agenda Nacional de Acción Ambiental – Agenda Ambiental 2013-2014.

Aprobada por Resolución Ministerial N° 026-2013-MINAM, establece en su Objetivo 9 – Prevenir y Disminuir la Contaminación de los Suelos, la aprobación e implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, por el Ministerio del Ambiente.

H. Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales

Aprobada por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, la propuesta normativa fue sometida a Consulta Pública, habiéndose recibido aportes y comentarios para su formulación.

I. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

Establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente y el artículo 118° de la Constitución Política del Perú. Se decreta la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo según el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

La fitorremediación se basa en los mismos procesos biológicos que tienen lugar en modificar las condiciones de la composición de los suelos, de forma que se favorezca la formación de especies y la retención de aniones y cationes metálicos.

En el estudio planteado permitirá establecer conceptos de determinadas especies vegetales que reducirán la contaminación para lograr una mejora en la calidad del suelo de la laguna de Yanamate y de esta manera contrarrestar los efectos de contaminación, a fin de incrementar la flora y fauna existente.

1.5. LIMITACIONES

La fitorremediación tiene también inconvenientes y limitaciones por ejemplo en otros estudios realizados, ha demandado mucho tiempo en generar cambios sustanciales en la calidad del suelo y generar intermediarios metabólicos inaceptables, con un poder contaminante similar o incluso superior al producto de partida. Por otra parte, algunos compuestos físicos, químicos y biológicos que se han generado en suelos altamente ácidos, básicos y salinos retardan el crecimiento de algunas especies de plantas empleadas al intervenir con la tecnología de la Fitoremediación.

El tiempo requerido para un tratamiento adecuado puede ser difícil de predecir y el seguimiento y control de la velocidad y/o extensión del proceso es laborioso. La aplicabilidad de esta tecnología depende del coste del tratamiento.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

- A. Bernal, M.P, Clemente, R., Vázquez, S y Walker, D.J: “Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar”. Ecosistemas. 2007.**

Resumen

Contaminación de suelo por vertido piritco de una mina en Aznalcollar, la cual dejó 4286 hectáreas contaminados y un 59.7% era suelo agrícola, el documento hace una descripción de cómo se trató esta contaminación en el sitio del desastre (Bernal et al. 2007).

- B. Becerril, J.M., Barrutia, O, Hernandez Allica, J, Garcia Plazaola, J.I., Hernandez, A y Garbisu, C: “Fitorremediación y biorremediación: nuevas tecnologías biológicas para la eliminación de los contaminantes del suelo”. Jornadas Científicas sobre Medio Ambiente. Madrid (España). 16-17 Abr 2002.**

Resumen

La contaminación de los suelos, sedimentos y aguas es uno de los problemas ambientales más graves de nuestra sociedad y es una consecuencia de la intensa actividad industrial y el desarrollo agrario de las pasadas décadas. La liberación de gran número de compuestos químicos, en numerosas ocasiones en concentraciones elevadas, ha originado su progresiva acumulación en la atmosfera, aguas superficiales y subterráneas y en sistemas de difícil recuperación como son los suelos. Hasta fechas muy recientes las únicas tecnologías para la descontaminación de los suelos estaban basadas en técnicas fisicoquímicas de aplicabilidad limitada, costosas y que modifican los ecosistemas de forma irreparable. Recientemente han aparecido técnicas que utilizan plantas y microorganismos para degradar, extraer o inmovilizar los contaminantes de suelo o aguas. La utilización de las plantas para la descontaminación de los suelos se denomina de forma genérica "fitorremediación" (...) (J.M. et al. 2002).

C. García, Rab y Reyes, As: “Fitorremediación de metales pesados y microorganismos”. Ama.Redciencia.Cu. 2009.

Resumen

La contaminación de hábitat con metales pesados se ha convertido en un problema mundial, por lo que existe la necesidad de sistemas

rápidos y accesibles que puedan predecir con fiabilidad las concentraciones de estos elementos en el suelo y sobre esta base fomentar el uso de técnicas de biorremediación para la restauración de sitios contaminados. Especial atención ha de prestarse a la Fitorremediación como una novedosa tecnología para la estabilización y remediación de la contaminación por metales pesados. Numerosos puntos importantes en este proceso deben ser elucidados, entre los que se incluyen la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo y el papel de los microorganismos asociados a las plantas que crecen en estos sitios (García and Reyes 2009) .

D. Martínez-Ramos, Miguel y Ximena, García-Orth: “Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas”. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 2007.

Resumen

Las selvas húmedas han sufrido una intensa deforestación y degradación debido a las actividades antropogénicas. Grandes áreas antes cubiertas por estos bosques de elevada diversidad actualmente se encuentran transformadas en campos agropecuarios, bosques secundarios, campos degradados abandonados y, en menor proporción, remanentes aislados de selva. La teoría clásica de la

regeneración natural en claros resulta insuficiente para el estudio de la sucesión y la restauración ecológica de selvas en los extensos campos deforestados. Se requieren nuevos principios ecológicos que permitan el desarrollo de tecnologías eficientes para la recuperación de selvas en campos degradados. El presente artículo desarrolla un esquema conceptual que considera el nivel de disponibilidad de propágulos de especies nativas y el grado de alteración ambiental (calidad de sitio) como dos ejes determinantes de la capacidad de regeneración de la vegetación de selva en campos degradados. La historia de uso del suelo es un promotor importante del estado de los ejes anteriores al modificar con un cierto nivel de intensidad, extensión y duración al ecosistema original. Nuestro marco conceptual identifica factores clave que es importante considerar en la restauración de campos degradados. Según nuestro modelo, la tasa y la magnitud de la regeneración natural (capacidad de regeneración) disminuyen con una reducción en la disponibilidad de propágulos (i.e. banco y lluvia de semillas, regeneración de avanzada, meristemas en raíces y tocones) y la disminución de la calidad sitio (por ejemplo, al aumentar la compactación y la fertilidad del suelo, y la abundancia de plantas exóticas). Diferentes tipos de uso de suelo reducen diferencialmente la capacidad de regeneración de la vegetación nativa. Por ejemplo, predecimos que la capacidad de

regeneración en milpas abandonadas (las cuales reducen en mucho menor grado la disponibilidad de propágulos y la calidad de sitio) debería ser mayor que en pastizales ganaderos abandonados. Las predicciones se evalúan con información proveniente de la literatura y de un proyecto de investigación de largo plazo llevado a cabo en la región de La Selva Lacandona (Chiapas), México. Finalmente, se hace una reflexión sobre los costos asociados a la restauración y se ofrecen recomendaciones que pueden ayudar a promover la sucesión ecológica en campos degradados (Martínez-Ramos and Ximena 2007).

E. Marrero-Coto, Jeannette, Amores-Sánchez, Isis, Coto-Pérez, Orquídea “Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 2012.

Resumen

Uno de los rasgos distintivos de la sociedad moderna es la creciente generación de contaminantes ambientales, lo que trae consigo daños considerables a la salud humana y a la diversidad biológica. Los metales pesados son contaminantes que necesitan especial atención porque pueden permanecer varias décadas en el suelo y concentrarse en las cadenas tróficas. Las tecnologías desarrolladas

para el saneamiento de ambientes contaminados con metales pesados son costosas y requieren un largo período de tiempo para su ejecución. La Fitorremediación es una vertiente de la biorremediación que surge recientemente como alternativa ante esta problemática ambiental, y se basa en el uso de plantas que acumulan elevadas concentraciones de metales en sus tejidos para contener, remover o neutralizar contaminantes, mediante mecanismos de captura de metales propios de estas plantas y/o por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera. Estudios previos sugieren que los microorganismos rizosférico poseen mecanismos capaces de alterar la circulación de metales en el medio ambiente, con efectos subsecuentes en el potencial de la planta para su captación en la raíz. En la actualidad, la Fitorremediación no es una tecnología disponible comercialmente. Los progresos en el campo son limitados por falta de conocimiento de las interacciones complejas en la rizósfera y los mecanismos de plantas hiperacumuladoras que permiten la translocación del metal y su acumulación. Esta revisión responde a la necesidad de brindar mayores conocimientos que aumenten la rentabilidad y eficacia de estas plantas, debido a que su aplicación resulta muy importante en la protección del medio ambiente (Marrero-Coto, Amores-Sánchez, and Coto-Pérez 2012).

F. Miguel Ángel Caviedes: “Biorremediación de suelos contaminados con metales pesados de Andalucía”. Econoticias.Com/red/agencias, 20/03/2012.

Resumen

Las leguminosas son una familia de plantas que reúne tanto árboles, hierbas y arbustos pero cuya peculiaridad es, por un lado, que tienen la propiedad de fijar nitrógeno gracias a una serie de nódulos que desarrollan cuando una bacteria específica entra en contacto con su raíz, y por otro, que son plantas fitoestabilizadoras de metales. De este modo, los expertos señalan que son una especie muy adecuada a la hora de trabajar en la regeneración de medioambientes degradados. El responsable de este grupo de investigación, Miguel Ángel Caviedes Formento, explica, junto con Eloísa Pajuelo e Ignacio Rodríguez Llorente, que el tratamiento con leguminosas es "muy ventajoso" ya que, además de eliminar los residuos tóxicos, aporta nutrientes con lo que se enriquece este suelo que fue gravemente dañado durante el momento del vertido. Caviedes hace además hincapié en la importancia de utilizar las simbiosis autóctonas entre plantas y microorganismos para no dañar la biodiversidad del lugar. En su interés por la biotecnología este grupo está desarrollando una segunda línea de investigación, cuya responsable es Pajuelo, enfocada a la biorremediación de aguas residuales contaminadas con

compuestos fenólicos como es el caso del agua resultante del lavado del corcho. El objetivo de este estudio, señala Caviedes, es conseguir tratar biológicamente este agua que actualmente se almacena en piscinas y que luego se descontaminan en empresas externas. Hasta ahora se han aislado y caracterizado las bacterias implicadas en la degradación y la eliminación del fenol para después trabajar con ellas y conseguir que esta agua residual tenga las condiciones óptimas por ley para poder ser vertida a los ríos. “Con la aplicación de estas técnicas naturales se abaratarían costes al tiempo que dotaría a las empresas productoras de corcho de un sistema de purificación de agua propio”.

G. Antonio Velasco Trejo D. Alejandro de la Rosa Pérez Gustavo Solórzano Ochoa Tania L. Volke Sepúlveda: “Evaluación de Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados con Metales”. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. Instituto Nacional de Ecología. México. Diciembre, 2004.

Resumen

En el presente documento se describen los resultados obtenidos de la caracterización de residuos mineros (jales) de una mina abandonada, ubicada en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos, en

donde se benefició principalmente Ag, Pb y Zn, del siglo XVI hasta 1988. Se presentan también resultados derivados de seis meses de experimentación, realizados para comparar cinco técnicas para el tratamiento del material contaminado con metales: (i) separación física; (ii) lavado; (iii) electrocinética; (iv) solidificación/estabilización; y, (v) tratamiento en un biorreactor. La muestra de jal, se acondicionó y caracterizó en cuanto a la distribución por tamaño de partícula, características fisicoquímicas y concentración total y soluble (lixiviable) de metales. El material tuvo un patrón de distribución por tamaño de partícula, observándose que la fracción menor a 45 μm fue predominante (44.2%) y la que contiene la mayor concentración de los metales analizados. La muestra presentó un pH de 8.20, una capacidad de intercambio catiónico de 30.1 $\text{Cmol}(+)/\text{kg}$, y una densidad aparente de $1.33 \text{ g}/\text{cm}^3$; asimismo, se detectaron altas concentraciones totales de Pb de 2298 mg/kg y de As de 139 mg/kg . A pesar de las altas concentraciones totales de estos elementos, además de las de Cd y V, no se detectaron cantidades significativas en los lixiviados, obtenidos por dos métodos diferentes (solución ácida y agua meteórica). A través de un balance metalúrgico (Sección 7.4.1), se determinó que el As, Cd, Cr, Ni, Pb y V, prevalecen en las partículas menores a 45 μm , lo cual indica la factibilidad de la separación física como alternativa para pre-tratar el material, ya que

eliminando esta fracción, la concentración de dichos elementos se reduce en la fracción restante y se concentran los metales en un volumen menor de material. En la Sección 7.4.2, se muestran los resultados del lavado de jales, de donde se determinó que un incremento en el tiempo del tratamiento, por arriba de 4 h., no mejora significativamente la extracción de Pb por acción de tres diferentes soluciones (EDTA, HCl y ácido cítrico). Se encontró que con una solución 0.1 M de EDTA se obtiene la mayor eficiencia de remoción de Pb (79%), seguida por la de HCl 1.0 M (70%) y por la de ácido cítrico 0.1 M (57%). Del estudio preliminar de remediación electrocinética (Sección 7.4.3), se determinó que utilizando una intensidad de corriente de $7.14 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$, electrodos de titanio recubiertos de óxido de rutenio, y agua como solución electrolítica, es posible remover hasta $\sim 0.16 \text{ mg/L}$ de plomo en la solución contenida en el compartimiento catódico. En la Sección 7.4.4 se presentan los resultados obtenidos del tratamiento de Solidificación/Estabilización, los cuales indicaron que el tratamiento con cemento Pórtland tipo I, en proporción de 30% (96 h. de fraguado), es un método adecuado para estabilizar el Pb contenido en este tipo de jales. En cuanto a la evaluación del tratamiento por bacterias sulfato-reductoras (Sección 7.4.5), el biorreactor se operó estable y continuamente durante 180 días, obteniendo las siguientes eficiencias: (i) $\sim 70\%$ en el consumo

de sulfato; (ii) ~75% en la producción de PbS; (iii) ~98.4% de remoción de Pb soluble. Finalmente, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones preliminares derivadas de la primera fase del presente proyecto: (i) por las condiciones específicas del sitio y por las del material estudiado, puede sugerirse que estos jales no implican un riesgo ambiental en el sitio; (ii) lo anterior, deberá demostrarse a través de estudios con los suelos y sedimentos de la zona, así como con estudios metalúrgicos que serán desarrollados por el Consejo de Recursos Minerales (COREMI), en el marco de un acuerdo de colaboración CENICA-COREMI.

2.2. MARCO DE REFERENCIA

2.2.1. Definición de Suelo:

El suelo, también conocido como tierra o parcela, es uno de los recursos naturales, junto al agua y el aire, más importantes con los que contamos los seres humanos, ya que este resulta ser esencial para la supervivencia de cualquier especie, humana, como dijimos recién, pero también para los animales y las plantas, porque si todos ayudamos a mantener su productividad con correctas y adecuadas prácticas agrícolas se logrará el equilibrio tan anhelado entre la producción de alimentos que en él se desarrollan.

El suelo se forma gracias a la combinación de cinco elementos, que además interactúan entre sí, como ser: material parental, topografía, clima, tiempo y organismos vivos y si se analiza su composición, encontraremos cuatro componentes: materia mineral, materia orgánica, agua y aire. El material mineral se encuentra representado por pequeños pedazos de rocas y minerales de varias clases, siendo la grava, la arena, la arcilla y el limo las partículas inorgánicas más importantes que se observan en estos. En tanto, el componente orgánico está dado por las plantas destruidas y resintetizadas parcialmente y los residuos de los animales. Este material de origen biológico forma parte de los procesos de reciclado correspondientes a los ciclos del carbono y del nitrógeno en la naturaleza. Así, la materia orgánica (procedente tanto de los animales y vegetales muertos y en descomposición como de las excretas de numerosos seres vivos) pasa a integrarse al suelo, en lo que constituirá una definitiva fuente de materias primas para que los vegetales sinteticen su propio alimento a partir de estos componentes. Vale destacar que la acción de las formas de vida que pueblan las capas del suelo (hongos, bacterias, protistas, lombrices, otros invertebrados) resulta cardinal para un mejor procesamiento y aprovechamiento de todos estos productos.

El suelo goza de mayor salud, se muestra más fértil y productivo, cuando es protegido por las plantas. Uno de sus mayores enemigos es la erosión, que bien podría ser comparada con una herida en nuestro cuerpo: las aberturas que se hacen en los suelos dan paso a las infecciones, que acaban con la fertilidad del suelo.

Entre las principales causas de la erosión se encuentran las quemas, la deforestación, el abuso de productos químicos, los surcos que se construyen sobre la línea de inclinación de las pendientes y la eliminación absoluta de vegetación de un terreno.

Resulta importante recordar que el suelo es producto de un proceso que ha tomado miles de años; los científicos aseguran que se necesitan más de 3 siglos para que un trocito de roca de dimensiones similares a un dado se transforme en suelo fértil, gracias a la paciente acción de la lluvia, el viento, las bacterias y los líquenes.

Así como nuestra piel, el suelo vive, ya que es el hogar de millones de seres diferentes, tales como microorganismos, insectos y gusanos; y todos ellos tienen la importante tarea de procesar los restos de plantas y animales para convertirlos en alimento para los vegetales.

Sin aire, no podría existir dicho ciclo; el suelo también necesita del oxígeno, y lo recibe por medio de las galerías que diseñan los insectos que en él habitan, así como de las raíces de las plantas.

2.2.2. La situación del suelo en el Perú

El Perú, es un país pobre en buenos suelos, a pesar de su gran extensión. De las 128,521,560 hectáreas del país, sólo 25,525,000 hectáreas (19,86%) son aptas para la agricultura y la ganadería. En forma general los suelos del Perú se han clasificado en siete regiones de suelos o regiones geoedáficas.

- **Región yermosólica:** En la Costa desértica, que abarca unas 10,000,000 ha. Los suelos buenos están en los escasos valles costeros. En los valles irrigados predominan los suelos aluviales (fluvisoles), de alta calidad. En los desiertos predominan los suelos arenosos (regosoles), los salobres (solonchaks), y los aluviales secos en los cauces secos (fluvisoles secos). En los cerros y colinas predominan los suelos rocosos (litosoles). En la Costa norte (Piura y Tumbes) los suelos son arcillosos y alcalinos (vertisoles). En la Costa sur existen suelos volcánicos (andosoles) de reacción neutra.

- **Región litosólica:** En las vertientes occidentales áridas de los Andes, donde la topografía es muy desfavorable. Predominan los suelos pedregosos y rocosos (litosoles). En las partes bajas hay arenosos (regosoles) y áridos con calcio (yermosoles cálcicos). En las partes medias los hay con arcilla y cal (yermosoles lúvicos); con capa oscura y cal (xerosoles), y suelos pardos (kastanozems).

- **Región paramosólica o andosólica:** En las alturas andinas encima de 4,000 msnm, donde existen buenos suelos, pero el uso agrícola está limitado por el frío. Predominan los suelos ricos en materia orgánica y ácidos (paramosoles), y existen suelos rocosos (litosoles), calcáreos (redzinas), arcillosos profundos (chernozems), y orgánicos profundos (histosoles).

- **Región kastanosólica:** En los valles interandinos entre 2,200 y 4,000 msnm y en la parte superior de la selva alta. Predominan los suelos calcáreos de color rojizo y pardo rojizo (kastanozems cálcicos), arcillosos (kastanozems lúvicos) y profundos y finos (phaeozems). En el sur predominan los suelos de origen lacustre (planosoles), a veces con mal drenaje (gleisoles), y suelos de origen volcánico (andosoles).

- **Región líto-cambisólica:** En la selva alta entre 2,200 y 3,000 msnm. La pendiente es extrema y los suelos son pobres y erosionables por las altas precipitaciones. Predominan los suelos superficiales (litosoles) y de formación incipiente o jóvenes (cambisoles). Pueden ser ácidos o calcáreos, y con frecuencia, de color amarillo.

- **Región acrisólica:** En las partes medias e inferiores de la selva alta entre 500 y 2,800 msnm. Comprende algunos valles con buenos suelos. Predominan suelos profundos, de tonos amarillos y rojizos con buen drenaje (acrisoles) y arcillosos muy profundos (nitosoles). Hacia la selva baja aparecen suelos arcillosos ácidos y con fierro (acrisoles plínticos). En las pendientes los suelos son rocosos (litosoles). En los fondos de los valles los suelos son aluviales (fluvisoles), a veces con mal drenaje (gleisoles), y suelos arcillosos (vertisoles).

- **Región acrisólica ondulada:** En la selva baja. Hay suelos rojos y amarillos, ácidos y de baja fertilidad natural (ultisoles), jóvenes de perfil poco diferenciado (entisoles), jóvenes con diferenciación en horizontes (inceptisoles), mal drenados (aguajales),

moderadamente fértiles y bien drenados (alfisoles, vertisoles, molisoles), muy infértiles arenosos (spodosoles), de arenas blancas.

2.3. Naturaleza del Estándar de Calidad Ambiental para suelo

El Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación.

Los estándares de calidad ambiental para suelo constituyen los indicadores que miden el nivel de concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Para el control y mantenimiento de la calidad del suelo se han promulgado:

- Los Estándares de Calidad Ambiental para suelo y disposiciones complementarias, D.S. N° 002-2013-MINAM y D.S. N° 002-2014-MINAM.

- Guía para Muestreo de Suelos y Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos, R.M. N° 085-2014-MINAM.
- Protocolo de muestreo por emergencia ambiental, R.M. N° 125-2014-MINAM.

A. Ámbito de Aplicación.

Artículo 2º.- Ámbito de Aplicación

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.

B. Fase de Caracterización

Procede cuando los resultados de la FI superan los ECA suelo o niveles de fondo.

- Determinar extensión y profundidad de la contaminación.
- Muestreo de detalle, estudio de caracterización, y ERSA.
- Elaboración del Plan de Descontaminación de suelos.

C. Tipos de Acciones de Remediación

- Acciones de remediación para la eliminación de los contaminantes del sitio,

- Acciones para evitar la dispersión de los contaminantes,
- Acciones para el control del uso del suelo, y
- Acciones para monitoreo del sitio contaminado.

2.4. Definición y campo de aplicación de la biorremediación

La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Glazer y Nikaido, 1995). Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia (Atlas y Unterman, 1999):

- Sólido: con aplicaciones sobre medios contaminados como suelos o sedimentos, o bien directamente en lodos, residuos, etc.
- Líquido: aguas superficiales y subterráneas, aguas residuales. •
Gases: emisiones industriales, así como productos derivados del tratamiento de aguas o suelos. También se puede realizar una clasificación en función de los contaminantes con los que se puede trabajar (Alexander, 1999; Eweis et al., 1999):

- Hidrocarburos de todo tipo (alifáticos, aromáticos, BTEX, PAHs,...).
- Hidrocarburos clorados (PCBs, TCE, PCE, pesticidas, herbicidas,...).
- Compuestos nitroaromáticos (TNT y otros).
- Metales pesados: Estos no se metabolizan por los microorganismos de manera apreciable, pero pueden ser inmovilizados o precipitados.
- Otros contaminantes: Compuestos organofosforados, cianuros, fenoles, etc.

A. ¿Cuáles son las ventajas técnicas de la biorremediación?

A su amplio ámbito de aplicabilidad en cuanto a compuestos orgánicos, como ya se ha mencionado arriba, pueden sumarse las siguientes:

- Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están basados en transferir la contaminación entre medios gaseoso, líquido y sólido, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro.
- Es una tecnología poco intrusiva en el medio y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos dignos de destacar.

- Comparativamente, es económica y, al tratarse de un proceso natural, suele tener aceptación por parte de la opinión pública.

B. Propiedades del contaminante (biodegradabilidad).

En general, los hidrocarburos alifáticos se degradan rápidamente. Las estructuras más ramificadas son más difíciles de degradar que las cadenas lineales, al producir impedimentos estéricos. Las cadenas ramificadas de sulfonatos de alquilo o arilo a menudo se degradan muy lentamente. Los dobles enlaces hacen la molécula más resistente, así como un incremento del número de anillos bencénicos. Las sustituciones químicas (ácidos dicarboxílicos, nitrilos, metilaciones, halogenaciones) también hacen la molécula más resistente. Por otra parte, la biodegradación de compuestos que contienen N ó S está ligada frecuentemente a su utilización como nutrientes.

Presencia de comunidades microbianas adecuadas, con capacidad enzimática para metabolizar el compuesto(s). Los microorganismos pueden ser autóctonos (biorremediación intrínseca o atenuación) o añadidos al sistema para mejorar la degradación (bioaumentación). Sobre estos conceptos volveremos más adelante.

C. Disponibilidad del contaminante.

Es un factor crítico, más importante que la propia presencia de comunidades microbianas. Para que la degradación de un contaminante pueda producirse, es necesario que interactúe con la célula en medio acuoso. Inicialmente lo hará con la parte exterior de su pared para posteriormente ser transportado al interior de la misma. La forma más común de transporte es la complejación con enzimas extracelulares producidos por los microorganismos. Muchos contaminantes orgánicos, como los derivados del petróleo, PCBs, hidrocarburos aromáticos policíclicos (naftaleno, pireno, fluoreno), solventes halogenados, etc., son hidrofóbicos y tienden a adsorberse en el suelo, concretamente a la fracción orgánica (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina). Esta es una de las causas, por ejemplo, de la persistencia de muchos pesticidas. La producción de surfactantes por los microorganismos es un factor determinante, como veremos, que atenúa este problema y facilita la degradación.

D. Condiciones del medio contaminado:

Propiedades que permiten o limitan el crecimiento microbiano y el metabolismo del compuesto. A veces es necesario modificar las condiciones, por ejemplo, añadiendo nutrientes o aireando (bioestimulación). Es evidente que no podemos llevar a cabo un

análisis de los estudios de biodegradación existentes sobre todos los compuestos potencialmente contaminantes. Por ello, el texto lo centraremos principalmente en los hidrocarburos, ya que estos compuestos son los implicados en la problemática del Prestige.

2.5. Recuperación de los suelos. Técnicas de fitorremediación.

La elección de una estrategia de remediación depende de la naturaleza de los contaminantes. Los suelos contaminados con metales pesados son extremadamente difíciles de remediar y normalmente son excavados y sustituidos con suelo nuevo.

Además, algunas zonas contaminadas con metales son tratadas con otras técnicas, como la lixiviación ácida, separación física del contaminante o procesos electroquímicos que tienen costes muy elevados (Cunningham, 1995). Por ello, se busca utilizar técnicas de remediación biológicas menos invasivas y costosas.

La fitorremediación es considerada a menudo como una alternativa para las tecnologías de remediación convencionales por ser una actividad económicamente sostenible, eficaz y respetuosa con el medio ambiente (Kumar P., 1995).

Las técnicas de fitorremediación son de diverso tipo: fitoextracción, fitoestabilización o fitomovilización, fitodegradación, rizodegradación, rizofiltración, fitovolatilización y fitosalinización (Diagrama N° 1).

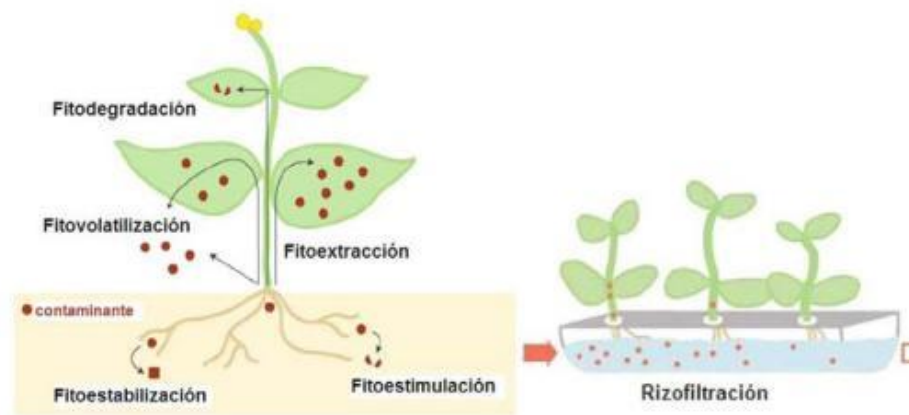


Diagrama N° 1: Representación esquemática de los distintos mecanismos de fitocorrección (Díez, 2008).

2.5.1. La Fitoextracción

También conocida como fitoacumulación, fitoabsorción o fitosequestración se emplea por la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante del suelo, especialmente metales, y acumularlo en sus tallos y hojas (Sekara et. Al., 2005; Yoon et al.; Rafati et al., 2011). Según Vangronsveld (2009), las plantas fitoextractoras ideales deberían poseer las siguientes características:

- Elevado índice de crecimiento.
- Elevada producción de biomasa.

- Sistema radicular ampliamente distribuido y muy ramificado.
- Acumular metales pesados del suelo.
- Translocar los metales pesados acumulados desde la raíz hasta los brotes.
- Tolerar los efectos tóxicos de los metales pesados.
- Presentar buena adaptación a las condiciones ambientales y climáticas de la zona y resistencia a patógenos y plagas.
- Deben ser de fácil cultivo y cosecha.
- Y repeler a los herbívoros para evitar la contaminación de la cadena alimentaria.

En el proceso de fitoextracción, tal y como indica el Diagrama N°2, primero se elegirá la especie apropiada que será cultivada en un suelo contaminado determinado. Tras haberse llevado a cabo la extracción del contaminante por la planta, se retirará la cosecha, ahora convertida en biomasa enriquecida por el metal pesado que contaminaba el suelo. Posteriormente, se llevará a cabo el tratamiento de la cosecha; por compostaje, compresión o tratamientos termales por ejemplo, para reducir el volumen y/o el peso de biomasa. Por último ésta materia prima se procesará como si se tratara de un residuo peligroso, o se reciclará para recuperar los elementos que podrán tener valor económico (Vangronsveld et al., 2009).

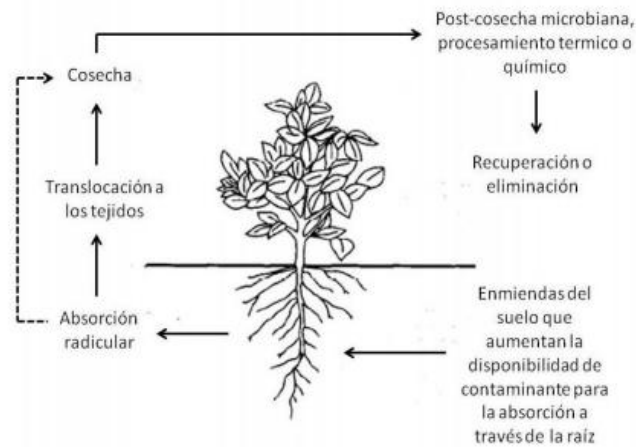


Diagrama N° 2: Proceso implicado en la fitoextracción de contaminantes del suelo (Cunningham, 1995).

2.5.2. La Fitoestabilización o Fitoimmobilización

Es el uso de plantas para estabilizar los contaminantes en suelos contaminados (Singh, 2012). Esta técnica es utilizada para inmovilizar y reducir la biodisponibilidad de contaminantes en el suelo, previniendo su migración a aguas subterráneas o su entrada en la cadena trófica. Las plantas pueden inmovilizar los metales pesados en los suelos a través de adsorción por la raíz, precipitación, complejación o reducción de la valencia del metal en la rizosfera (que hace el metal menos tóxico como sucede, por ejemplo, con la reducción del Cr^{+6} a Cr^{+3}). Esta técnica no es una solución permanente porque los metales pesados permanecen en el suelo, solo se limita su movimiento, por ello actualmente es una

estrategia utilizada para estabilizar o inactivar contaminantes potencialmente tóxicos (Hazrat Ali et al., 2013).

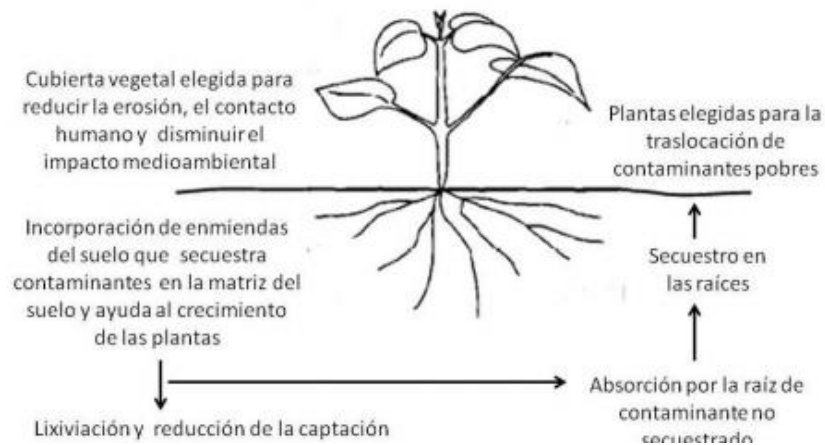


Diagrama No 3: Procesos implicados en la fitoestabilización de los suelos contaminados.

2.5.3. La fitodegradación

Es la degradación de contaminantes orgánicos por las plantas con la ayuda de enzimas como la deshalogenasa y la oxigenasa, no dependientes de los microorganismos de la rizosfera (Vishnoi and Srivastava, 2008).

Las plantas pueden acumular xenobióticos orgánicos de suelos contaminados y detoxificarlos por sus actividades metabólicas. Esta

estrategia está limitada solo a contaminantes orgánicos, ya que los metales pesados no son biodegradables (Doty et al., 2007).

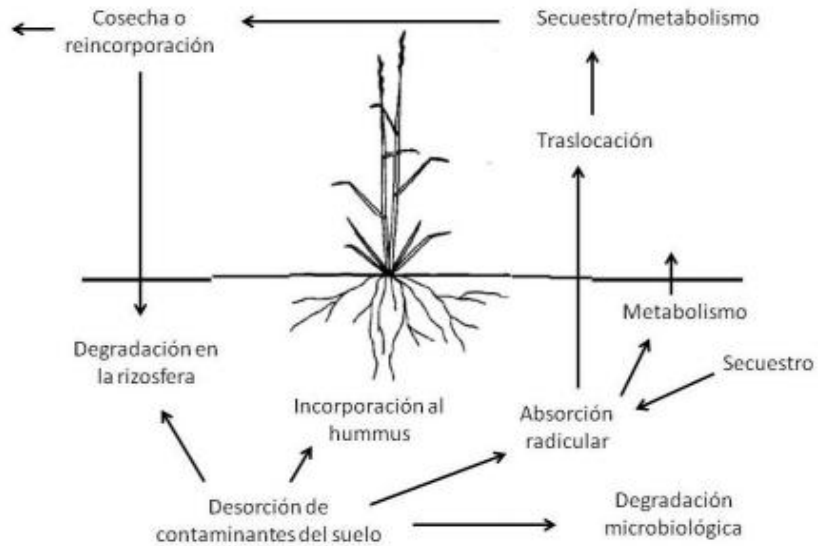


Diagrama N° 4: Procesos de fitodegradación de contaminantes orgánicos en el suelo (Cunningham, 1995).

La rizodegradación refiere a la descomposición de contaminantes orgánicos en el suelo por microorganismos presentes en la rizosfera (Mukhopadhyay and Maiti, 2010).

En esta zona del suelo las plantas secretan exudados ricos en carbohidratos, aminoácidos y flavonoides; creando así un entorno rico en nutrientes que estimula la actividad metabólica microbiana hasta cien veces mayor de lo normal.

2.5.4. La Rizofiltración

Se basa en que algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales presentes en las aguas contaminadas a través de las raíces. Aunque los estudios en este sentido son prometedores, la limpieza a gran escala utilizando esta técnica no está demostrada excepto para algunas aplicaciones limitadas (Díez, 2008).

2.5.5. La Fitovolatilización

Es la absorción de contaminantes del suelo por plantas, su conversión a formas volátiles y su posterior liberación a la atmósfera. Es una estrategia utilizada con contaminantes orgánicos y algunos metales pesados como Hg y Se; pero en esta técnica existe una controversia, ya que no se excluye completamente el contaminante, sino que se transfiere del suelo a la atmósfera, donde puede volver a ser redepositado (Hazrat et al., 2013).

2.5.6. La fitodesalinación

Es una técnica reciente emergente. Se refiere al uso de plantas halófitas para suprimir el cloruro sódico de suelos salinos que hacen imposible el crecimiento normal de otras plantas (Hazrat et al., 2013).

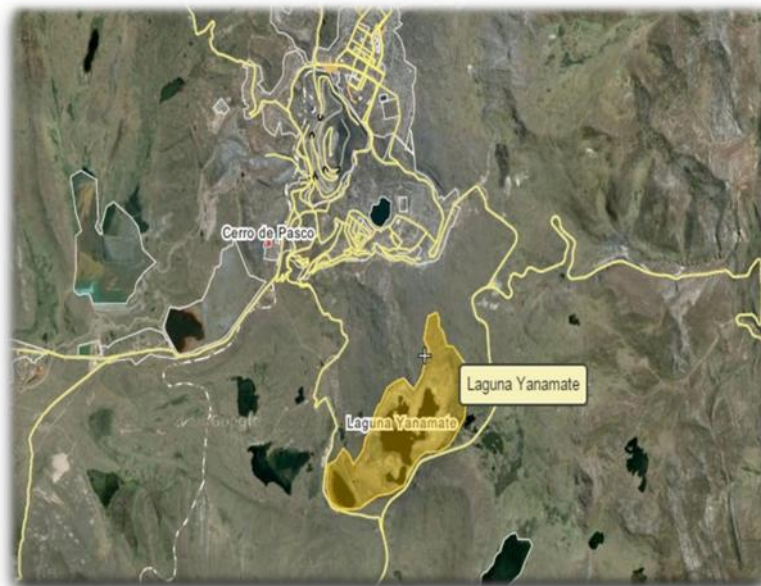
2.6. Ubicación del Proyecto:

El proyecto de Yanamate está ubicada en la provincia de cerro de Pasco aproximadamente a 320 km de la ciudad de lima, a una altura promedio de 4,300 msnm.

A. Ubicación y Acceso:

El área de estudio está ubicado entre las comunidades campesinas de Quiulacocha y Yanamate comprendiendo los distritos Simón Bolívar, Chaupimarca y Tinyahuarco, en la provincia de Pasco y en la región del mismo nombre.

Fotografía Satelital N° 1: Zona de Estudio



El acceso hacia la parte sur .suroeste del área del proyecto es por la vía carróza que parte de la ciudad de cerro de Pasco hacia la relavera de Quiulacocha, y hacia la parte sur –sureste del proyecto es a través de la carretera antigua hacia Cerro de Pasco, el cual cruza las lagunas Yanamate y Huayhuacocha.

Fotografía Satelital N° 2: Laguna Yanamate



B. Referenciacion al Nivel Satelital:

Distrito : Chaupimarca

Provincia : Pasco

Región : Pasco

Ubigeo : 190101

Latitud Sur : 10° 42' 49.9" S (-10.71385941000)

Longitud Oeste: 76° 15' 16.6" W (-76.25461190000)

Altitud : 4347 msnm

Huso horario: UTC

2.7. La Laguna Yanamate:

El deposito se encuentra ubicada aproximadamente a 2.6 Km al sureste de la ciudad y ha sido utilizada históricamente para la disposición de aguas acidas desde las operaciones mineras de Centromin Perú (inicios del año 1981) el deposito Yanamate tiene una extensión aproximada de 100 Ha y una profundidad máxima de 22 m.

Se considera que esta laguna es endorreica al no tener descarga visible a superficie produciéndose una descarga interna, por intermedio de las estructuras Kársticas del acuífero calcáreo basal.

Proponemos iniciar el proceso de neutralización del agua de la laguna Yanamate con la disposición de relaves procedentes de mineral calcáreo identificado con potencial de Neutralización (PN) para ser procesado con este propósito de restauración y recuperación de suelo en Yanamate.

2.7.1. Fisiográfica

La laguna Yanamate yace en una región montañosa de roca caliza y se extiende hacia el Sureste desde Cerro de Pasco hacia la laguna Junín. Las lomadas de roca caliza comprenden la región montañosa desde la división de la cuenca colectora regional que separa a la cuenca de drenaje del río Huallaga hacia el noreste de la cuenca de drenaje del río San Juan y la laguna Junín hacia el sur oeste.

El área superficial de la laguna es de aproximadamente 2.6 km² a la elevación superficial existente de 4,358.4msnm. La profundidad actual del lago varía entre 26 y 30 m y las depresiones locales en la parte inferior del lago corresponden a las elevaciones de 4,328 msnm a 4,332 msnm.

Antes del uso del lago como una instalación de manejo de agua de mina, las elevaciones del lago variaban en el rango de 4,344.5 msnm a 4,350.0 msnm reflejando variaciones anuales en las cantidades de precipitación recibidas.

En este contexto, la laguna Yanamate está limitado hacia el lado noroeste con Algayhuachanan y hacia el lado sureste con Incacha por lomadas de roca caliza que alcanzan cotas de 4400 a 4500 msnm,

estables, con pendientes entre 25° a 40°. El área suroeste está bloqueada por una morrena glacial cuyas laderas tienen pendientes entre 5° y 12° el cual llega a los 4362 msnm.

La laguna Yanamate está limitado hacia el Noroeste y el sureste por lomadas de roca caliza que alcanzan las elevaciones de aproximadamente 4,400 msnm a 4,500 msnm.

El área Suroeste final del valle del lago está bloqueada por una morrena glacial baja de elevaciones desde 4,360 msnm hasta 4362msnm que separan la cuenca de la laguna Yanamate (elevación de 4,358.4 msnm desde la cuenca más baja y adyacente de la laguna Cuchis-elevación de 4,346 msnm.

2.7.2. Geología

La Laguna Yanamate estuvo sujeta a la glaciación durante la última edad de hielo. La erosión glacial es evidente en los afloramientos de roca en los alrededores de la laguna y es muy probable que sea la responsable de la excavación de la cuenca de la laguna Yanamate así como de las otras lagunas, incluyendo Angascancha.

En la cuenca de la Laguna, los últimos períodos de la glaciación estuvieron aparentemente asociados con un tipo de glaciación alpina que retrocedió hacia el Noreste desde el Valle del Río San Juan, a través de la Laguna Cuchis hacia la Laguna Yanamate, hacia las estructuras circulares en las lomadas de roca caliza circundantes.

Este retroceso está marcado por morrenas glaciales pequeñas pero prominentes, conformadas de till con abundantes cantos entre la Laguna Cuchis y la Laguna Yanamate.

En la zona de la laguna Yanamate, se presentan formaciones calizas en bancos gruesos, con horizontes de dolomita, caliza arenosa, y exquisitos.

Las formaciones rocosas están fracturadas por deformaciones tectónicas y afectadas por disolución kárstica.

En muchas zonas, el basamento rocoso está expuesto o cubierto con suelos de muy poca profundidad.

Los suelos glaciales depositados en el área son suelos gran medida de la erosión de las formaciones de roca caliza, son muy calcáreos y

con mucho limo, arena, grava y cantos hechos del material de la roca caliza.

Indica que el contexto de la geología y fisiografía del área de estudio está relacionado al área inherente del nuevo alineamiento de la tubería de conducción de los relaves hacia la laguna Yanamate y sus alrededores cercanos el mismo que se encuentran enmarcado dentro de los típicos valles glaciales ,flanqueados por cerros que están en el orden de los 4300 a 4500msnm y donde la diferencia de altura entre el fondo de los valles y las cumbres de los cerros es menor que 200 metros .también se observa la presencia de algunas lagunas y humedales ,que se remplazan por materiales glaciales (morrenas fluvioglaciares) de poco espesor.

- La topografía irregular del fondo de la Laguna Yanamate probablemente refleja tanto la erosión superficial de la roca caliza por la glaciación como la deposición de till glacial sobrepuesto por depósitos lacustres glaciales de limo dentro de las depresiones del basamento rocoso en el fondo del lago.

La naturaleza kárstica de la roca caliza probablemente es anterior al período de glaciación. El karst es un aspecto antiguo de la secuencia

de roca, más probablemente desarrollado durante el levantamiento de la región en el Terciario. La erosión glacial posterior habría expuesto canales en algunas áreas de la roca caliza, especialmente en área de depósitos superficiales de poca potencia.

En otras áreas, los rasgos kársticos habrían sido enterrados debajo de los depósitos glaciales de mayor potencia, lo cual los habría aislado de la superficie.

Los efectos de la glaciación han dejado la Laguna Yanamate aparentemente directamente conectada con las formaciones de caliza kárstica subyacentes dadas las características del drenaje interno en la cuenca de la laguna.

2.7.3. Suelos

La Laguna Yanamate está ubicada casi completamente sobre la Formación Chambará (Grupo Pucará), la cual es una formación muy potente de roca caliza de edad Triásica a Jurásica. Los estratos de la formación tienen un rumbo Noroeste hacia el Sureste y forman las prominentes lomadas de roca que se elevan entre Cerro de Pasco.

La secuencia de roca caliza está plegada de varias formas a lo largo de las estructuras sinclinales y anticlinales que se orientan con una tendencia de Noroeste hacia Sureste.

La roca caliza está finamente granulada y es de porosidad granular fina pero está fracturada y es de naturaleza kárstica.

La susceptibilidad de la roca caliza a las soluciones kárstica está evidenciada por las superficies fuertemente meteorizadas de la roca caliza expuesta, las cuales se han desarrollado desde que los últimos glaciares dejaron el área, y por numerosas áreas en donde el agua de escorrentía superficial drena internamente dentro de depresiones superficiales, tanto en una pequeña escala como en un gran escala como es el caso de la Laguna Yanamate.

Un aspecto clave para la geología del basamento rocoso en relación al comportamiento hidrogeológico de la Laguna Yanamate es el contraste entre las formaciones Chambará.

La Formación Chambará es una secuencia de roca caliza pura, la cual ha desarrollado condiciones kársticas altamente permeables, presumiblemente asociadas con rasgos estructurales pre-existentes.

Las unidades diferenciadas y relacionadas a la proyecta línea de conducción de relaves comprenden a las rocas de la formación Casa palca (conglomerado, calizas y lutitas, del grupo Pucara (calizas) y del grupo Excélsior (Filitas) Seguidamente se describe mayores detalles de estas subunidades.

A. Conglomerado Calcereo:

Sus afloramientos conspicuos están en los alrededores de la planta de catados Son de color blanquecino ,mediante duros a duros poco fracturados ,algo meteorizado con clastos suban gulosos de naturaleza polimictica cuyos tamaños van desde unos pocos centímetros hasta 0.40m de diámetro y una matriz calcárea algo arenosa y bien cementada.

B. Calzas Margosas y Lutitas:

Son afloramiento pertenecientes a la Familia Casa palca que se presentan en los alrededores donde la línea de conducción cruza la antigua carretera hacia Cerro de Pasco .son de color blanquecino a marrón rojizo, débiles a regularmente duros, poco a medianamente meteorizados.

2.7.4. Riesgos Naturales

Los riesgos que encontramos en el área de estudio fueron:

- Hundimiento de terreno.
- Erosión del suelo.
- Contaminación atmosférica.

2.8. Hipótesis

2.8.1. Hipótesis General

La situación actual de los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo superficial de la Laguna de Yanamate, para determinar los factores que han permitido la pérdida de su calidad ambiental y podrán ser restaurados y mejorados al determinar las condiciones ambientales actuales que se tienen y para lograr su aprovechamiento en el futuro

2.8.2. Hipótesis Específicos

Se puede lograr la identificación y poder describir las condiciones ambientales actuales del suelo superficial de la Laguna Yanamate para determinar los componentes físicos, químicos y biológicos.

Es posible utilizar la tecnología de la fitorremediación para permitir restaurar y mejorar la calidad del suelo y devolverle las condiciones ambientales para su aprovechamiento futuro.

Las medidas que se realizaran deben establecer y aplicar para la conservación, manejo y utilización sustentable de los recursos naturales de la laguna de Yanamate.

2.9. Variables

Variable Independiente

Cumplimiento al Estándar de Calidad Ambiental de suelo para el tratamiento de la calidad del suelo de la Laguna Yanamate.

Variable Dependiente

Propuesta de remediación y sostenibilidad adecuada del suelo de la Laguna de Yanamate.

Variable Concurrente

Contaminación del suelo por metales pesados.

Elementos físicoquímicos y biológicos en el suelo.

Problemas de sostenibilidad ambiental del ecosistema de la laguna

CAPITULO III

METODOS Y MATERIALES DE INVESTIGACION

3.1. Diseño de investigación

El diseño de una tecnología de biorremediación que se utilizará para el tratamiento del suelo de la Laguna de Yanamate es el Diseño Experimental Directo.

X o Y

Dónde: **X** (trabajo experimenta - monitoreo)

o (la conexión para el trabajo de investigación)

Y (evaluación de los resultados)

3.2. Metodología de la Investigación

Para el desarrollo de la investigación, así como para la obtención de resultados confiables a partir de un diseño experimental para la remediación de un suelo contaminado, es necesario, en primer lugar, realizar a cabo su caracterización del suelo. La caracterización del suelo en un sitio, implica actividades de muestreo y análisis que tienen como finalidad determinar la extensión y

naturaleza de la contaminación; asimismo, provee las bases para adquirir la información técnica necesaria para desarrollar, proyectar, analizar y seleccionar las técnicas de limpieza más apropiadas.

Es necesario determinar las coordenadas (grados, minutos, segundos y fracciones de latitud y longitud) de estación es decir por medio de planos cartográficos ubicar el lugar exacto donde se va a muestrear por medio de x, puntos o círculos que determinan el lugar donde se va a tomar la muestra.

El muestreo representativo juega un papel muy importante en la calidad y la utilidad de los datos analíticos. El muestreo representativo debe tener altos niveles de precisión y exactitud, que garanticen que una muestra o grupo de muestras sea representativa y proporcione con precisión las características del sitio, además de que los resultados sean reproducibles. La exactitud se refiere a la aproximación del valor del análisis de suelo con respecto al contenido real en campo, y la precisión describe la posibilidad de reproducir de los resultados. Ambos parámetros están determinados por el número de muestras tomadas en el campo. A medida que se incrementa el número de muestras, aumenta la exactitud y la precisión.

El objetivo del muestreo de suelos es obtener información confiable sobre un suelo específico. Aunque las muestras se colectan para obtener información

respecto al cuerpo de suelo más grande denominado "población", tales muestras podrán ser o no representativas de la misma, dependiendo de cómo hayan sido seleccionadas y colectadas.

Todos los suelos son naturalmente variables: sus propiedades cambian, horizontalmente, de manera transversal al paisaje y, verticalmente, más abajo del perfil del suelo.

3.2.1. Tipos de muestreo

A. Muestreo de Identificación

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. El alcance del muestreo e identificación estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.

En el muestreo de identificación, no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes en un suelo, sin

embargo, para contar con un límite de confianza aceptable, es pertinente realizar un número mínimo de puntos de muestreo.

Los resultados analíticos del Muestreo de Identificación serán comparados inicialmente con los ECA suelo. Si los valores detectados en el suelo superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado y se procede con la fase de caracterización.

Para la elaboración del muestreo de identificación es necesario utilizar la información de la investigación histórica y la inspección del sitio potencialmente contaminado, que provee de insumos para la elaboración del modelo conceptual inicial, el mismo que debe ser lo suficientemente detallado para identificar claramente las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación.

La hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual orientan el diseño del muestreo de identificación.

Se debe tener en consideración los siguientes aspectos al momento de la formulación del Muestreo de Identificación:

- Se determina el Área de potencial Interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.
- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar, y debe ser debidamente justificado, siendo necesario el muestreo a lo largo de la perforación, incluyendo su documentación geológica.
- En casos de perforaciones a diferentes profundidades, las muestras deben ser tomadas por cada metro de profundidad que se perfore, considerando la estratigrafía local. La longitud del núcleo de perforación a muestrear no debe ser mayor a un metro.
- Para puntos de muestreo con profundidades igual o menores a 1 m, todas las muestras tomadas deben ser analizadas. En perforaciones o zanjas con una profundidad mayor a 2 m, el número mínimo de muestras a analizar obtenidas por punto de muestreo son 3. Como el objetivo de los análisis químicos es delimitar verticalmente la contaminación, puede ser necesario analizar más de tres muestras.
- Las muestras a ser analizadas deben ser aquellas que presenten mayor evidencia de la presencia del contaminante bajo estudio.
- Las modificaciones al proceso de muestreo de identificación previamente elaborado deberán justificarse, fundamentarse y documentarse.

- Para el control de calidad analítica se debe duplicar el 10% de las muestras a ser analizadas para sitios con superficies menores o igual a 20 ha, y 5% para superficies mayores a 20 ha, que deben ser analizadas en otro laboratorio acreditado.

B. Muestreo de nivel de fondo

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los agentes químicos regulados por el ECA suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides.

Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes.

La estrategia del muestreo de nivel de fondo ha de ser debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, usando como ayuda los

datos y conclusiones de la Fase de Identificación. Así, la localización del área de muestreo ha de considerar lo siguiente:

- a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe demasiado alejado del mismo.
- b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación

C. Muestreo de comprobación de la remediación

Tiene como objetivo demostrar que las acciones de remediación implementadas en un suelo contaminado, alcanzaron de forma estadísticamente demostrable, concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en el ECA Suelo o los niveles de remediación específicos establecidos en base al Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), según su guía correspondiente.

Los resultados serán incorporados en el Informe de culminación de acciones de remediación que será presentado a la entidad de fiscalización ambiental correspondiente.

Es recomendable que antes de la realización de un Muestreo de comprobación de la Remediación (MC) se realice un muestreo preliminar

(muestreo que al no ser obligatorio se realiza bajo criterios de la empresa), con la finalidad de tener un buen margen de seguridad que los resultados del MC sean exitosos (el MC se realiza con laboratorio acreditado y en lo posible con la presencia de la autoridad fiscalizadora).

3.2.2. Técnicas de muestreo

El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos.

La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras.

A. Para muestras superficiales

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será

necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas.

En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánica volátiles.

Grandes volúmenes de muestras (por ejemplo. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario.

B. Para muestras en profundidad

En un sitio potencialmente contaminado puede existir también una distribución espacial en profundidad de las sustancias contaminantes. Esta puede resultar de la interacción entre las características y propiedades del suelo a lo largo del perfil con las características y propiedades de las propias sustancias contaminantes. Por ello, es esencial que el muestreo refleje también la posible variabilidad espacial

en profundidad de las sustancias contaminantes. De otra forma, las decisiones tomadas pueden no resultar adecuadas.

- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar, y debe ser debidamente justificado, siendo necesario el muestreo a lo largo de la perforación, incluyendo su documentación geológica.
- En casos de perforaciones a diferentes profundidades, las muestras deben ser tomadas por cada metro de profundidad que se perfore, considerando la estratigrafía local.
- La longitud del núcleo de perforación a muestrear no debe ser mayor a un metro.
- Las muestras del suelo contaminado, siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo), a menos que se señale otra especificación dependiendo del contaminante.
- Evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipos y recipientes para las muestras, que ocasionen la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.
- En el proceso de perforación para la obtención de muestras de suelo no se debe inducir a la contaminación de acuíferos o cuerpos de agua subterráneas.
- Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre (en el caso de compuestos orgánicos como por ejemplo

hidrocarburos), debe entregarse dicha muestra al laboratorio junto con las muestras de suelo para la identificación del tipo de compuesto presente.

- Se elegirá el método y equipo para el muestreo de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del sitio, el tipo de contaminante, el nivel de la napa freática; así como el tipo y profundidad de muestras a tomarse.
- En el caso exista peligro de que la perforación induzca una contaminación de acuíferos o cuerpos de aguas subterráneas u ocasione un corte hidráulico es requerido sellar el agujero de la perforación con materiales adecuados.
- Una lista de los sistemas comúnmente utilizados para la toma de muestras sólidas, indicando su aplicación y las ventajas e inconvenientes.

3.2.3. Manejo de las muestras

A. Materiales para guardar y transportar materiales

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear, deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que las metodologías lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C), aplicables en contaminantes orgánicos.

El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío.

B. Etiquetado

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.
- La etiqueta que acompañe a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble.
- Inmediatamente de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.

C. Ficha de muestreo

Documento que recoge información levantada en campo, que incluye la técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas

3.3. Población y muestra

3.3.1. La población

El suelo del perímetro de la laguna Yanamate, afectado por los problemas de contaminación de vertimientos de aguas ácidas provenientes de la empresa minera Cerro S.A.C. ubicado en distrito de Tinyahuarco, Provincia de Chaupimarca, región Pasco.

3.3.2. La muestra

La muestra corresponderá a la Laguna de Yanamate. Para seleccionar los puntos de análisis se ha considerado un **Muestreo probabilístico de Tipo Intencionado**; tomando y teniendo en cuenta el monitoreo de cada uno de ellos de acuerdo al protocolo de análisis de suelos para áreas de contaminación de forma irregular menores a 1 000 m² y hasta 5 000 m²

El Número de muestras y distribución, será de una muestra por cada 15 – 20 metros lineales en las paredes del perímetro del área excavada y 2 en el fondo según la superficie (áreas menores a 1 000 m²) y 3 o 4 para áreas hasta 5 000 m², según sea el caso.

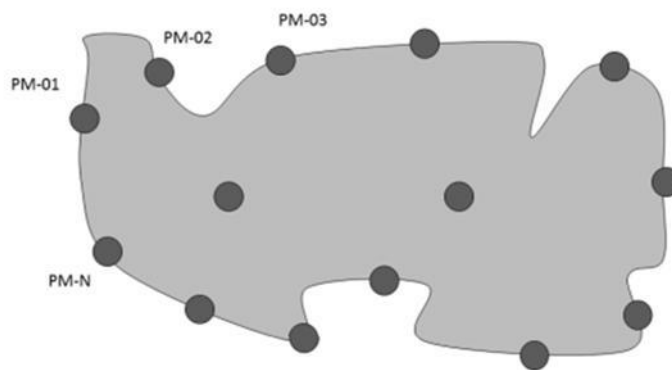


Ilustración N° 1: Localización de los puntos de muestreo en el Área de muestreo irregular

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La observación: emplearemos la observación estructurada, porque se manipularán los hechos que se observen. Asimismo el trabajo documental, estará centrado en la revisión de libros, revistas y otros documentos que tengan relación con nuestra investigación. También, utilizamos las informaciones obtenidas a través del Internet.

Fichaje: se utilizará el fichaje bibliográfico para anotar los datos referidos a los libros que se manejé durante la investigación. Además

las fichas de transcripción textual, transcribiendo entre comillas al pie de la letra el contenido científico.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para la variable independiente: empleamos el escalamiento de Likert, para identificar a los elementos contaminantes del suelo de la Laguna de Yanamate, sus contenidos así como su interpretación.

Para la variable dependiente: se formularán una serie de análisis de campo (construcción de parcelas demostrativas en el área de influencia del problema con el fin de identificar y evaluar la mejor propuesta que nos permita recuperar el suelo la Laguna de Yanamate.

3.6. Tratamiento estadístico

Los datos numéricos se procesarán agrupándolos en intervalos y se tabularán. Luego se construyeran con ellos cuadros estadísticos, calculándose además las medidas de tendencia central, de dispersión o de correlación que resulten necesarias. De allí en adelante se trabajarán al igual que los otros datos numéricos, mediante la tabulación y el procesamiento en cuadros estadísticos.

CAPITULO IV

RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1. Condición Actual del Suelo de la Laguna Yanamate, en los Puntos de Muestreo.

A. Condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 1:

Al realizar la visita de campo, y recabar la información en el sitio de la toma de muestra, y realizar la descripción se observa que el suelo se encuentra altamente erosionado, tampoco se aprecia el crecimiento de ninguna especie, también se puede ver la pérdida total de la estabilidad física y biológica, provocando hundimientos cuando se camina por el lugar y totalmente sin la cobertura vegetal, un suelo con conglomerados de muchos componentes químicos: plomo, zinc, cobre, hierro, etc., También se puede apreciar diferentes texturas y coloración en partes rojizo, plomo, verdoso y otros.

Fotografía N° 1: Características de la actual condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 1.



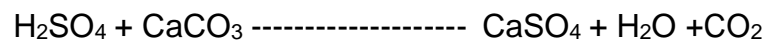
Estas alteraciones en la composición en el suelo, han sido provocadas por las altas concentraciones de acidez de las aguas de mina sin ningún tratamiento vertidos a las aguas de la laguna Yanamate, de la empresa minera Centromin Perú S.A. y en la actualidad Cerro S.A.C. como resultado se puede apreciar la pérdida total de la flora y fauna en el lugar, con concentraciones de acidez en promedio de 1,5.

B. Condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 2:

En el suelo, se puede apreciar un suelo altamente erosionado, por la acción de las reacciones químicas que se han producido al haber reaccionado las rocas calizas con el agua acida, en esta zona del

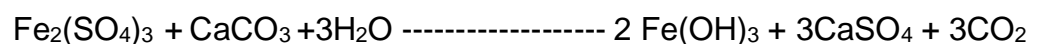
estudio se puede apreciar la formación de sales en el suelo, es un resultado de la alteración de sus superficies exteriores y interiores de las rocas de calizas que forma gran parte el suelo de la Laguna, y se puede apreciar como el agua acida fue introduciendo por los grietas, fisuras y fallas de la estructura de las rocas, un complejo proceso de alteración ha interactuado por fenómenos químicos, físicos y biológicos estos procesos químicos se puede simplificar en las reacciones siguiente:

Neutralización del ácido sulfúrico con la roca caliza se produce la siguiente reacción química:



Esta reacción química nos indica que al reaccionar el ácido sulfúrico con la roca caliza se forma sulfato de calcio, agua y dióxido de carbono. Por lo que vamos obtener un suelo salino.

También, como el agua acida contiene la presencia de metales disueltos, en el proceso de tratamiento natural de neutralización se logra la precipitación del hierro de ferrico, como se aprecia en la siguiente reacción.



Al analizar estas reacciones químicas podemos mencionar que producto de la neutralización se obtiene un suelo con la presencia de sales y la formación de hidróxidos de diferentes metales que contiene el agua residual de la operación minera.

También se puede notar en esta zona del estudio una característica de un suelo con una granulometría fina, como si se hubiera molido el suelo con una máquina, de un color rojizo, marrón a negro. Sin vegetación, al caminar sobre la superficie se tiene hundimientos y se puede apreciar la presencia aberturas y cárcavas que se han formado. Es notorio que en esta zona ha existido un mayor grado de alteración del suelo.

Fotografía N° 2: Color del Suelo en el Punto de Muestreo N° 2



C. Condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 3:

El suelo en esta zona se puede apreciar al visualizar y realizar la comparación con otras zonas se ve que ha sido poco impactada por el vertimiento del agua acida, se puede apreciar la adaptabilidad y el crecimiento de plantas. Esto es un inicio en un proceso de recuperación de los suelos, se ve en el lugar a comenzado a realizarse el crecimientos de las plantas más primitivas de la tierra como son las briofitas (musgos), estos requieren que el suelo retenga y exista humedad constante, y de esta forma van logrando su adaptabilidad en varias zonas.

Fotografía N° 3: Condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 3



También se ha podido conseguir que en estos suelos, se puede apreciar la adaptabilidad del *Stypa Ichu*, nuevamente la naturaleza busca condiciones con los procesos naturales revertir el impacto al suelo, que se ha dado en el lugar del estudio. Muchos de ellos logran su adaptabilidad al suelo salino, con escasez de nutrientes, y cada día luchan para lograr su adaptabilidad a estos ambientes agrestes y logrando de esta forma lograr su crecimiento la planta *Stypa Ichu*. El ambiente actual de la laguna Yanamate sigue recibiendo el vertimiento de aguas acidas de las operaciones mineras de la Empresa Minera Cerro S.A.C. La cobertura vegetal cada vez es más inestable.

D. Condición del Suelo en el Punto de Muestreo N° 4:

Los suelos en este lugar son bastante inestables y se observan la formación de cárcavas, grietas y aberturas en el suelo de la laguna Yanamate, el suelo en su totalidad está totalmente erosionado y alterado, la pérdida de sus propiedades físicas, químicas y biológicas debido a que se sigue realizando el vertimiento de drenaje ácido de la mina, hacia esta zona.

Fotografía N° 4: Suelo en el Punto de Muestreo N° 4



El efecto cada vez es más insostenible y grave, generando problemas y daños en las estructuras internas del suelo de la laguna Yanamate por lo que los procesos de recuperación naturalmente demoraran muchos años, por la dimensión del daño causado.

4.2. Resultados de los Monitoreo realizados al ambiente de la Laguna De Yanamate.

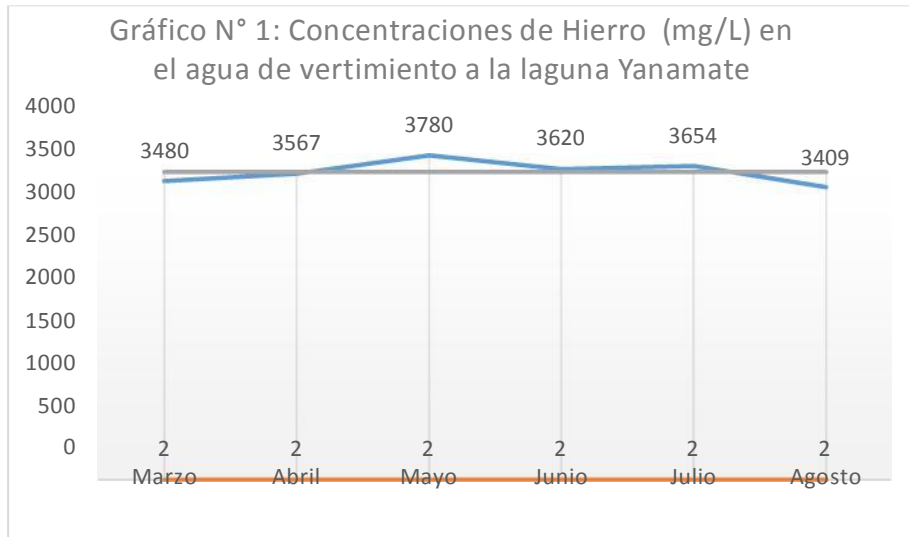
El incremento de la composición de los metales pesados en el suelo de la laguna Yanamate, se debe a las altas concentración de metales disueltos presentes en el agua residual de mina, que se viene vertiendo

sin ningún tratamiento de las operaciones mineras que realiza la Empresa Minera Cerro S.A.C.

Las mediciones a los monitoreo realizados a las aguas residuales de las operaciones de la Empresa Minera Cerro S.A.C., que son vertidas en la actualidad, se detallan a continuación.

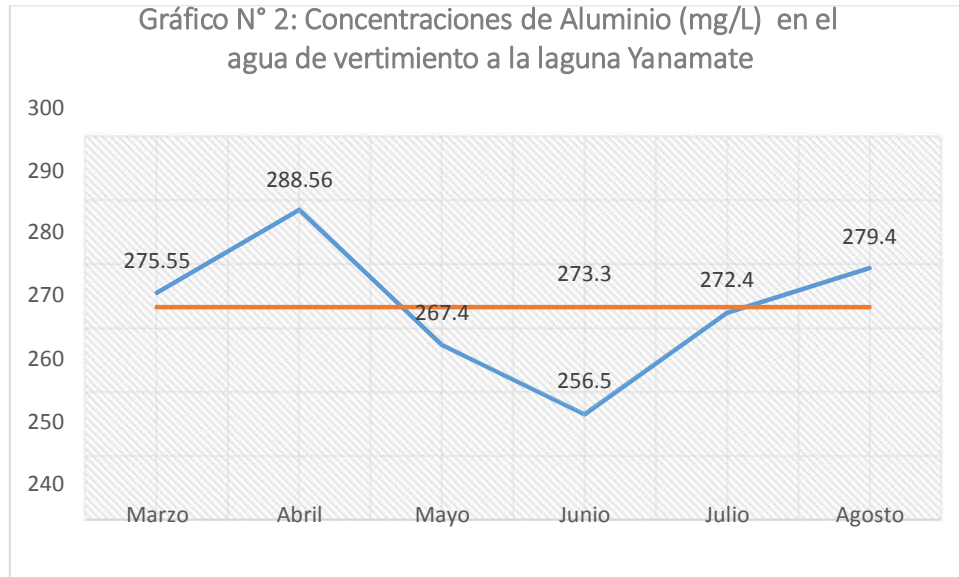
A. Medición de Concentración de Hierro

Las concentraciones en cuanto al contenido de Hierro se han realizado las mediciones entre los meses marzo y agosto del año 2017, y está comprendido entre 3480, 3567, 3780, 3620, 3654 y 3409 mg/L respectivamente. En promedio de los seis meses medidos fue de: 3585 mg/L y según el Decreto Supremo 010-2010-MINAM, se aprobaron los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, derogando en parte la Resolución Ministerial 011-96-EM/VMM, ya que los artículos 7, 9, 10, 11 y 12, así como los anexos 03, 04, 05 y 06 mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos, en el cual manifiesta que debe de ser 2 mg/L.



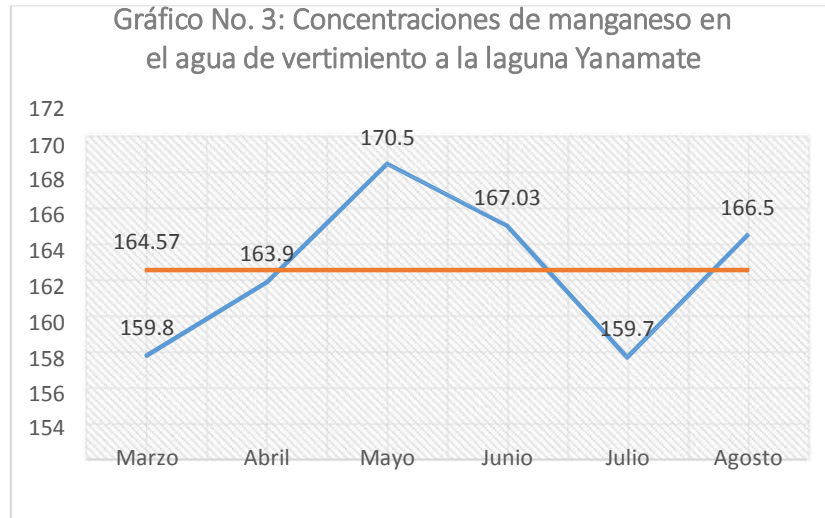
B. Medición de Concentración de Aluminio

En cuanto al contenido de Aluminio los resultados de los monitoreo realizados muestran concentraciones entre los meses de marzo a agosto de: 275.55, 288.56, 267.4, 256.5 y 272.4 mg/L respectivamente. Y una concentración media de 273.30 mg/L no tiene Límite Máximo Permisible para este parámetro de medición según el Decreto Supremo 010-2010-MINAM y Resolución Ministerial 011-96-EM/VMM.



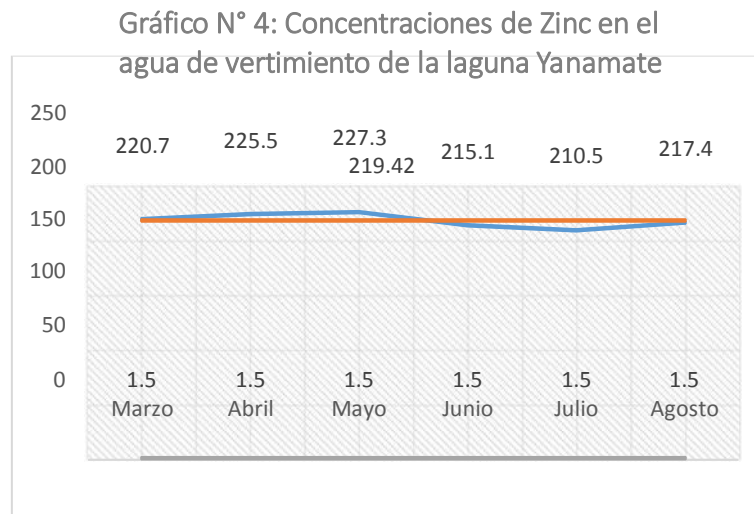
Medición de Concentración de Manganeso

El manganeso presenta en concentración que varían de: 159.8, 163.9, 170.5, 167.03 y 159.7 mg/L respectivamente, estos resultados son de los monitoreo realizados en los meses comprendidos de marzo a agosto del año 2017. No tiene determinado un Límite Máximo Permisible (LMP) para este parámetro de medición según la legislación ambiental del Ministerio del Ambiente.



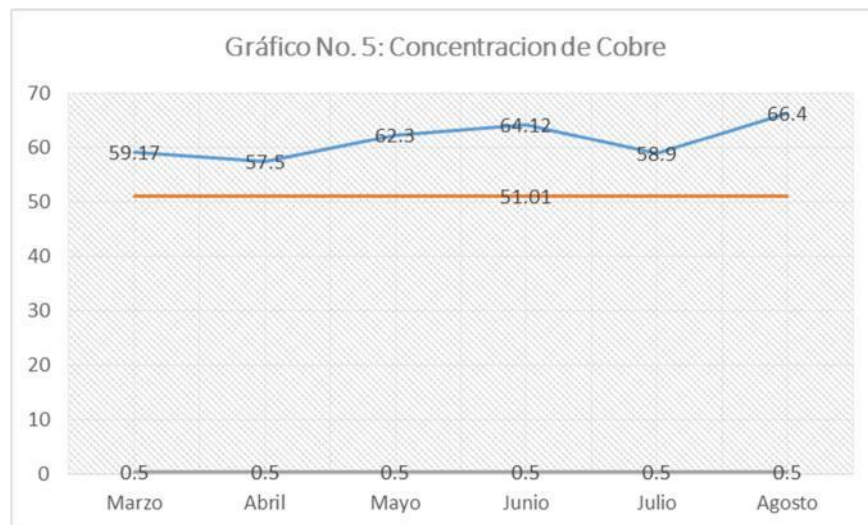
C. Medición de Concentración de Zinc

Las mediciones de la concentración de Zinc dio como resultado: 220.7, 225.5, 227.3, 215.1 y 210.5 mg/L respectivamente en las muestras de los monitoreo realizados en los meses comprendido de marzo a agosto del presente año. El Límite Máximo Permissible según el Decreto Supremo 010-2010-MINAM es de 1.5 mg/L.



D. Medición de Concentración de Cobre

El contenido de cobre, en los monitoreos realizados entre los meses de marzo a agosto, nos dan concentraciones que van de: 59.17, 57.5, 62.3, 64.12, 58.9 y 66.4 mg/l respectivamente, al determinar el promedio de las concentraciones se obtuvo una media de 61,39 mg/L, y el Límite Máximo Permisible 1.5 mg/L.



E. Parámetros Fisicoquímicos:

- Determinación de pH

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones de hidrogeno, una solución con pH menor de 7 será ácida,

si el pH es superior de 7 recibe el nombre de básica, un pH igual a 7 corresponde a la neutralidad

La importancia de medir el pH de un suelo radica en la disponibilidad de los nutrientes del suelo por parte de las plantas para absorberlos, ya que muchos nutrientes tienen la máxima solubilidad a pH de 6 – 7 decreciendo por encima y por debajo de tal rango

El pH del suelo es medido por lo general potenciomètricamente en el sobrenadante en equilibrio con la suspensión del suelo los valores de pH dependen de las características del suelo la concentración de CO₂ disuelto y el contenido de humedad al cual se realiza la medición.

El pH del suelo está influenciado por la composición y naturaleza de los cationes intercambiables, la composición y naturaleza y concentración de las sales solubles y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalinos- térreos.

- Punto de Extracción de Muestra de Suelo de la Laguna de Yanamate

Diagrama N° 5: Puntos de Toma de Muestra.



- Resultados del pH obtenidos en el suelo:

Tabla N° 1: Se muestra los análisis de pH del Suelo

RESULTADO DEL PH DEL SUELO		
PROTOCOLOS	pH	Temperatura
PUNTO 1 (SUELO NEGRO LIMOSO)		
1:1	-	-
1:2	6,9	10,9
PUNTO 2 (SUELO OSCURO)		
1:1	5,25	11,4
1:2	5,41	11,0
PUNTO 3 (SUELO ARCILLOSO)		
1:1	5,45	11,5
1:2	5,46	10,8

PUNTO 4 (SUELO ARENOSO)		
1:1	6,61	11,0
1:2	6,75	6,75

Al analizar los resultados obtenidos en el punto 2 y 3, y comparando con el cuadro de la clasificación del suelo con respecto al pH, en estas 2 zonas se encuentra en el rango de pH comprendido entre 5,5 – 4,7, según la clasificación se puede concluir que se encuentra fuertemente ácido.

Como también se muestra los resultados obtenidos en los puntos 1 y 4, los cuales se encuentran dentro del rango de 6,5 a 7,3 y dentro de la clasificación el suelo es neutro. En estas zonas permite la presencia de plantas Stipa Ichu.

4.3. Disponibilidad de Adaptabilidad de la Stipa Ichu en el Suelo Contaminado de la Laguna Yanamate.

El proceso de la adaptación y crecimiento de las plantas en los suelos de la laguna Yanamate, se viene dando en una forma natural, esto ocurre en las zonas menos impactadas en donde el pH se encuentran en el rango de 6,5 – 7,3 y por la caída de lluvia y la humedad se logra acumular en algunos lugares pequeñas pozas de agua, es donde se ve el crecimiento de los musgos.

Los musgos son plantas más representativas de las Briófitas. Son plantas muy simples, sin vasos conductores, ni flores, ni frutos que viven en medios muy húmedos y sombríos, también son muy resistentes y habitan muchos de ellos en los suelos ácidos y salinos.

Al lograr su adaptación en estos suelos forman almohadillas verdes mojadas sobre el suelo de la laguna Yanamate. Para vivir y reproducirse necesitan un ambiente cargado de humedad al igual que los líquenes, los primeros colonizadores del ambiente terrestre. También, se puede ver en la zona de estudio que son los musgos los que inician el primer paso para la conformación y la formación del suelo, donde más tarde se instalaban otras plantas más desarrolladas como el caso del *Stipa ichu*, *Helichrysum stoechas* y otros, por ello tienen gran importancia ecológica.

Cada día, se va cubriendo de vegetación los suelos de la laguna Yanamate con presencia de varias especies de plantas del lugar, logran adoptarse en distintas formas y usan diferentes estrategias, muchos de ellos permiten a través de su proceso de desarrollo y crecimiento, extraer y acumular metales a través de la raíz mediante el proceso de fitorremediación es el caso del *Stipa Ichu* para el caso de nuestro estudio. También existen otras que vienen adaptándose *H. Stoechars*, y otras especies.

Tabla N° 2 y Fotografía N° 5: Stipa Ichu en el suelo de Yanamate

TAXONOMIA	
REINO	Plantae
DIVISION	Magnoliophyta
CLASE	Liliopsida
SUBCLASE	Commelinidae
ORDEN	Poales
FAMILIA	Poaceae
SUBFAMILIA	Stipoideae
GENERO	Stipa
ESPECIE	Stipa ichu



En el procedimiento de la investigación se pudo notar que el Stipa Ichu, basa su resistencia a los metales con la estrategia de la acumulación es más común de esta especie, porque aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos. Algunos metales como el hierro, Manganeseo y el Zinc, por ejemplo, pueden llegar a ser absorbido de los suelos por las plantas y ser ligeramente tóxico para las mismas, siendo los elementos móviles en este caso el Fe, Mn y Zn, en los tejidos de las plantas, se acumulan preferiblemente en las hojas y en las semillas.

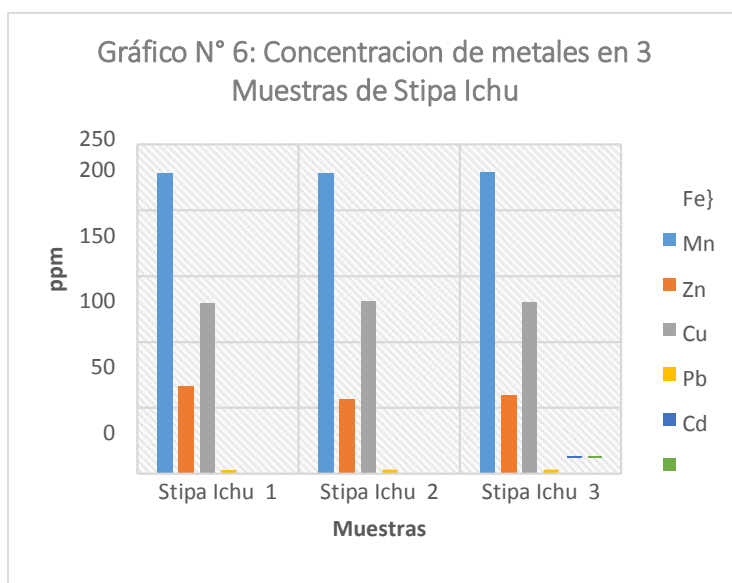
En los análisis químicos realizados a tres muestras se pudo notar tal efecto, las cuales se presentan a continuación.

Tabla N° 3: Contenido de Metales en el Stipa Ichu

Muestra	Metales Analizados					
	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)
Stipa Ichu 1	228.34	66.56	130	2.86	0.1	0.029
Stipa Ichu 2	228.16	56.78	131	2.99	0.11	0.032
Stipa Ichu 3	228.67	59.87	130	2.96	0.12	0.031

También en los resultados se puede apreciar en el siguiente gráfico, que a continuación se detalla, los resultados de los análisis de absorción atómica, se puede apreciar en los análisis a las hojas de la planta de stipa ichu, se ve la gran presencia de la concentración de hierro 228.16 a 228.67 ppm, Manganeso 56.78 a 66.56 ppm y contenidos de zinc en un rango de 130 a 131 ppm. Estos son los resultados de los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María realizado en el año 2016.

También debo indicar que los resultados los análisis a las hojas de la planta fueron realizados refieren a los contenidos de plomo, cobre y cadmio, los resultados obtenidos en estos tres últimos no es de consideración porque se muestra pequeñas las concentraciones.



4.4. Comprobación de la Hipótesis

En el presente estudio se pudo lograr determinar el grave problema de la contaminación de suelos que se viene dando en la laguna Yanamate a consecuencia de los vertimientos de agua acida sin ningún tratamiento por parte de la empresa minera Cerro SAC en la actualidad y se seguir afectando las condiciones ambientales actuales del suelo superficial de la Laguna Yanamate, como viene hacer la pérdida de su cobertura vegetal, y los componentes físicos, químicos y biológicos.

Como se puede apreciar en los resultados el stipa Ichu, al ser usado como una planta y una alternativa de la tecnología de la

fitorremediación, puede permitir la descontaminación de metales de los suelos por el efecto acumulativo que estos realizan en sus hojas, talos y raíces, también por ser una especie que logra su adaptabilidad fácilmente en suelos contaminados y de esta forma permita restaurar y mejorar la calidad del suelo y devolverle las condiciones ambientales para su aprovechamiento futuro.

Las medidas de control también deben establecer y aplicar para la conservación, manejo y utilización sustentable de los recursos naturales de la laguna de Yanamate.

CONCLUSIONES

El incremento de la composición de los metales pesados en el suelo de la laguna Yanamate, producto de las descargas de agua acida sin ningún tratamiento con altas concentración de metales disueltos de las operaciones mineras que realiza la empresa minera Cerro S.A.C.

Los suelos en la actualidad se encuentran altamente erosionados, sin cobertura vegetal y la pérdida total de los componentes físicos, químicos y biológicos

Se puede evidenciar y con los estudios realizados que el Stipa Ichu, basa su resistencia a los metales con la estrategia de la acumulación que realizan tanto en el tallo, hojas y la raíz.

También por su fácil adaptabilidad siempre en suelos contaminados o metalíferos. Algunos metales como el hierro, Manganeso, el Zinc y otros elementos.

RECOMENDACIONES

La Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, al tener una Escuela de Ingeniería Ambiental debe pronunciarse frente al grave problema ambiental que se viene ocasionando a este recurso natural de la laguna Yanamate.

Los responsables de dirigir la política ambiental de nuestro país, deben de cumplir su función que el estado les ha conferido, como: OEFA, Fiscalía Ambiental, Autoridad Nacional del Agua y DIGESA.

BIBLIOGRAFÍA

Alexander, M. (1999). *Biodegradation and Bioremediation* 2nd ed. Academic Press, London.

Atlas R.M. y Bartha, R. (2001). *Ecología Microbiana & Microbiología Ambiental*. Pearson Educación, Madrid.

Atlas R.M. y Unterman, R. (1999). *Bioremediation*. In: Demain AL & Davies JE (Eds) *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology* 2nd ed (pp 666-681), ASM Press, Washington D.C

Bernal, M.P, R. Clemente, S Vazquez, and D.J Walker. 2007. "Aplicacion de La Fitorremediacion a Los Suelos Contaminados Por Metales Pesados En Aznalcóllar." *Ecosistemas*. doi:10.7818/RE.2014.16-2.00.

Christofi, N. e Ivshina, I.B. (2002). Microbial surfactants and their use in field studies of soil remediation, *Journal of Applied Microbiology* 93, 915-929.

De Lorenzo, V. (2001). Cleaning up behind us. *EMBO reports* 2, 357-359.

Eweis, J.B.; Ergas, S.J.; Chang , D.P.V. y Schroeder, E.D. (1999). *Principios de biorrecuperación*. McGrawHill, Madrid.

García, Rab, and As Reyes. 2009. "Fitorremediación de Metales Pesados Y Microorganismos." *Ama.Redciencia.Cu*, no. 16: 1–6.

Glazer, A.N. y Nikaido, H. (1995). *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology*. W. H. Freeman and Company, New York. Heider, J.; Spormann, A.M.; Beller, H.R. y Widdel, F. (1999). Anaerobic bacterial metabolism of hydrocarbons. *FEMS Microbiology Reviews* 22, 459-473.

Jaenecke, S.; de Lorenzo, V.; Timmis, K.N. y Diaz, E. (1996). A stringently controlled expression system for analysing lateral gene transfer between bacteria. *Mol. Microbiol.* 21: 293-300.

J.M., Becerril, Barrutia O., Hernandez Allica J., Garcia Plazaola J.I., Hernandez A., and Garbisu C. 2002. "Fitorremediación Y Biorremediación: Nuevas Tecnologías Biológicas Para La Eliminación de Los Contaminantes Del Suelo." In 2. *Jornadas Científicas Sobre Medio Ambiente. Madrid (España). 16-17 Abr 2002.*

King R.B.; Long, G.M. y Sheldon, J.K. (1997). Practical environmental bioremediation, the field guide. Lewis publishers, NY. Korda, A.; Santas, P.; Tenente, A. y Santas, R. (1997). Petroleum hydrocarbon bioremediation: sampling and analytical techniques, in situ treatments and commercial microorganisms currently used. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 48: 677-686.

Lang, S. (2002). Biological amphiphiles (microbial biosurfactants). *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 7, 12-20.

Marrero-Coto, Jeannette, Isis Amores-Sánchez, and Orquídea Coto-Pérez. 2012. "Fitorremediación, una Tecnología Que Involucra a Plantas Y Microorganismos En El Saneamiento Ambiental." *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar* 46 (3): 52–71. doi:ISSN: 0138-6204.

Martínez-Ramos, Miguel., and García-Orth Ximena. 2007. "Sucesión Ecológica Y Restauración de Las Selvas Húmedas." *Boletín de La Sociedad Botánica de México* 80: 69–84. doi:0366-2128.

Mishra, S.; Jyot, J.; Kuhad, R.C. y Banwari, L. (2001). Evaluation of Inoculum Addition To Stimulate In Situ Bioremediation of Oily-Sludge-Contaminated Soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67: 1675-1681