

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE **INGENIERÍA DE MINAS**

“EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN  
MÁS EFICIENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS  
CONTAMINADOS CON RELAVES DE MINAS  
SUBTERRÁNEAS POLIMETÁLICAS EN PASCO, 2020”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**Autores:**

Bryam Martin Ramirez Lopez  
Adelmar Alex Contreras Garcia

**Asesor:**

M.Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo  
<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Mag. Ing. Jesus G. Vilca Perez</b>	<b>41779520</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Mag. Ing. Eduardo Noriega Vidal</b>	<b>43236142</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Mag. Ing. Jorge Omar Gonzales Torres</b>	<b>43703713</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI



### Document Information

Analyzed document	1. TESIS FINAL - (1)[4].docx (D147878427)
Submitted	10/28/2022 5:46:00 AM
Submitted by	
Submitter email	alexcg.91@hotmail.com
Similarity	8%
Analysis address	gladys.licapa.delnor@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS_FINAL_KARINA_YANYELLI.docx</b> Document TESIS_FINAL_KARINA_YANYELLI.docx (D140956235) Submitted by: sandra.zavala@upn.pe Receiver: sandra.zavala.delnor@analysis.arkund.com	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / 11 T3_TT2_Milla_Leonardo.docx</b> Document 11 T3_TT2_Milla_Leonardo.docx (D140564600) Submitted by: denisse.alva@upn.pe Receiver: denisse.alva.delnor@analysis.arkund.com	 <b>4</b>
<b>SA</b>	<b>2°Proyecto de tesis Corregido_ Astete Pizan, Jefferson.docx</b> Document 2°Proyecto de tesis Corregido_ Astete Pizan, Jefferson.docx (D40994972)	 <b>6</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / GUADIAMOS_Y_JULCA_K_EXAMEN FINAL.docx</b> Document GUADIAMOS_Y_JULCA_K_EXAMEN FINAL.docx (D110506500) Submitted by: jessica.lujan@upn.pe Receiver: jessica.lujan.delnor@analysis.arkund.com	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / TESIS FINAL REYES Y VILLANUEVA.docx</b> Document TESIS FINAL REYES Y VILLANUEVA.docx (D111226903) Submitted by: grant.llaque@upn.pe Receiver: grant.llaque.delnor@analysis.arkund.com	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>UNESUM_ 6to B_G5_FITORREMEDIACIÓN.pdf</b> Document UNESUM_ 6to B_G5_FITORREMEDIACIÓN.pdf (D74840641)	 <b>8</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / 4_MerilynYolandayGloriaRosa - copia.docx</b> Document 4_MerilynYolandayGloriaRosa - copia.docx (D119677661) Submitted by: n00080832@upn.pe Receiver: velasquez.magda.delnor@analysis.arkund.com	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / CONTRERAS_02.docx</b> Document CONTRERAS_02.docx (D137743067) Submitted by: leslie.velarde@upn.pe Receiver: leslie.velarde.delnor@analysis.arkund.com	 <b>2</b>

## **DEDICATORIA**

A JEHOVA, a su infinita misericordia que siempre me sostiene y que  
siempre cumple sus promesas.

A nuestras madres, por sus oraciones y porque siempre creyó en mí hasta  
el final, a pesar de la adversidad. ¡¡¡LO LOGRAMOS!!!

La familia, nuestro mayor motivo para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más grande gratitud a Dios, que, sin él, todo esto no hubiera sido posible. Gracias Jehová Padre.

A partir de este momento y mediante estas líneas queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma estuvieron durante el tiempo de nuestra formación.

A nuestros amados padres por su apoyo incondicional en todos estos años y con su presencia fortalecieron nuestros empeños para no claudicar

Con mucha gratitud, aprecio y respeto para mi Asesora de Tesis, Ingeniera Gladys Sandi Licapa Redolfo, por su gran aporte profesional y su infinita paciencia, que con sus sabios consejos se pudo desarrollar esta Tesis, muchas gracias Ingeniera.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Bases teóricas	18
1.3. Formulación del problema	18
1.4. Objetivos	27
1.4.1. Objetivo General	27
1.4.2. Objetivos Específicos	29
1.5. Hipótesis	30
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	31
2.1 Tipo de investigación	31
2.1.1. Enfoque	31
2.1.2. Diseño	31
2.1.3. Tipo	31
2.2 Población y Muestra	31
2.2.1 Población	31

2.2.2 Muestra	31
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	32
2.4 Procedimiento	33
2.4.1. Aspectos éticos de la investigación	34
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>43</b>
4.1. Discusión	43
4.2. Limitaciones	44
<b>REFERENCIAS</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Estándares de calidad ambiental para el suelo</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2 Reportes aprobados de plan de cierre de pasivos ambientales Mineros Zona Central Perú 2015 – 2020</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3 Minas con Relaves Remedidos Pasco- Perú</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4 Parámetros básicos</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5 Información Del Sitio Contaminado</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6 Características Biorremediadoras</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7 Comparación Método – Características</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8 Características</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9 Método y características propuestos con Mayor Viabilidad</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10 Matriz De Consistencia Y Cronograma</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 11 Matriz De Operacionalización De Variables</i>	<i>57</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Procedimiento metodológico de la investigación .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2. Vista parcial del espejo de aguas ácidas del depósito de relaves – Quiulacocha lado sur .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. Vista panorámica del depósito de relaves de Quiulacocha vista de este a oeste .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4. Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5. Tres muestras de la planta nativa Taya (Baccharis tola Phil.) y su correspondiente suelo rizósferico de cada muestra .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 6. Reconocimiento de la planta que cumple con los criterios .....</i>	<i>63</i>

## RESUMEN

La elaboración de esta tesis tiene como propósito, evaluar los métodos de biorremediación más eficientes, para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020. Evaluar las características de los métodos de biorremediación más viables y la recuperación de los suelos contaminados por los relaves en Pasco, luego describir los parámetros geológicos, extracción, situación previa a la remediación y tipos de biorremediación aplicadas en las minas subterráneas polimetálicas. Después analizar las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves. Luego comparar y proponer las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves. Por último, proponer el método con mayor viabilidad utilizado para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas polimetálicas en Pasco.

Concluyendo elegir el tipo de biorremediación económicamente más viable para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco, proponiendo el método de fitorremediación con características de bajo costo, no produce contaminantes, amigable ambientalmente, utilización de especies vegetales nativas del lugar para su adaptabilidad, puede reciclar recursos, resistente a altas concentraciones de metales y químicos, trata diversos contaminantes y positivamente eficiente.

**PALABRAS CLAVES:** Biorremediación, fitorremediación, relaveras, minas polimetálicas, remediación.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad a nivel global, el fin primordial de la minería, es que se presenta como un aporte para el desarrollo económico dentro de un país, pero en realidad ocasiona un irreversible problema y convirtiéndose en principal contaminante de nuestro suelo, agua y aire. Encontrando en este grave problema la solución en las plantas y el uso de esta nueva tecnología que es la fitorremediación y sus respectivos métodos para la recuperación de suelos contaminados dejados por la minería a gran escala, mediana escala, la pequeña minería y minería artesanal e informal. (Barrios, Garcilazo, 2019)

La explotación minera se ha convertido en una amenaza mundial para los recursos naturales, ya que los residuos que deja en su gran mayoría son metales pesados y aguas acidas, convirtiéndose en fuentes de contaminación para la naturaleza en este último siglo y que no pueden ser degradados químicamente. (Chamorro, 2019)

Paiva (2015) mencionó que el tema ambiental actualmente es el más discutido y de mayor importancia para los países de Ecuador y Colombia como también para Chile y Argentina, generando polémicas y preocupación en el intercambio de conocimientos tecnológicos y financieros a nivel internacional, nacional, regional y local, presentando proyectos de componente ambiental, deterioro ambiental, contaminación de suelos, aguas subterráneas y vulnerabilidad que presentan los ecosistemas por la actividad minera.

Hoy en día en países como Chile y Bolivia, siendo uno de los temas más importantes en el siglo XXI, es el cuidado del medio ambiente, y que día a día genera una presión social, ocasionada por el sector minero, ya que en los últimos años ha incrementado perjuicios socio- ambientales a causa de sus pasivos ambientales dejado por una mala administración ambiental. (Barrios, Garcilazo, 2019).

Guerrero (2017), nos muestra que sus diseños y experiencias exitosas de revegetación para la reincorporación biológica y suelos impactados por actividades mineras, en los depósitos de relaves de la Unidad Minera Quiracay, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, departamento de Pasco y la ex Unidad Minera Colquirrumi ubicada en el distrito de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, es posible calificarlos como experiencias exitosas en vista que los monitoreos de estabilidad física, química y biológica en ambos casos es positiva.

De los estudios anteriores se tiene conocimiento básico de que las plantas pueden ser usadas para remediar suelos de zonas que existen pasivos ambientales, ha sido conocido desde décadas pasadas, sólo recientemente se está reconociendo completamente el valor de las plantas acumuladoras de metales en la recuperación de suelos contaminados. Tecnología que se encuentra todavía en etapa de investigación y desarrollo, pero de que el número de pruebas de campo en esta época poco a poco está mostrando resultados muy favorables.

Miñano (2017) nos da a conocer que una de las causas de la degradación de los recursos naturales en el Perú, son los diferentes pasivos ambientales mineros y las plantas concentradoras en actividad, generando volúmenes de ácidos de mina, originados por la oxidación de minerales sulfurosos, expuestos al aire y al agua, la dilución de metales pesados

Fe, Mn, Pb, Cu, Al, etc., que se transportan por aguas superficiales contaminando suelos de zonas aledañas que no están contaminadas.

Ramírez & Torres (2020) explicó que, en el Perú, se encuentra mayor frecuencia de suelos contaminados, por la diversa minería que se lleva a cabo en nuestro país y los inadecuados trabajos en los procesos de tratamiento del mineral, lo que genera la contaminación de estos suelos volviéndolos infértiles. Cajamarca y La Libertad poseen grandes masas de suelo con mineral.

Gil (2020) menciona que actualmente las industrias y empresas mineras están sumándose a la preocupación de reducir en lo mayor posible los impactos negativos al medio ambiente; sin embargo, diariamente a nivel nacional se produce una inmensa cantidad de relaves, siendo un tema de mucha preocupación para cada país.

Martínez (2018) afirma que, en el Perú la extracción minera descarga grandes cantidades de relaves aproximadamente 4000 toneladas por día directamente a los ríos, lagos y quebradas, práctica común en la mayoría de centros mineros. Sin embargo, el estado mediante osinergmin, supervisa en las minas se construya y se debe construir presas de relaves en un intento de mantener a estos fuera de los arroyos y ríos; dichas presas han tenido un éxito relativo. De los estudios anteriores se tiene conocimiento básico de que las plantas pueden ser usadas para remediar suelos de zonas que existen pasivos ambientales, ha sido conocido desde décadas pasadas, sólo recientemente se está reconociendo completamente el valor de las plantas acumuladoras de metales en la recuperación de suelos contaminados. Tecnología que se encuentra todavía en etapa de investigación y desarrollo, pero de que el número de pruebas de campo en esta época poco a poco está mostrando resultados muy favorables.

Por otro lado, en el año 2017, Miñano, publicó su tesis con fines de fitorremediación, esta tesis reportó 98 especies vegetales repartidas en 72 géneros y 42 familias, lo cual permitió la elaboración de un catálogo de las especies de plantas que vegetan en las zonas de influencia de los pasivos mineros, considero crear conciencia en la población realizando programas de capacitación para evitar la contaminación ambiental y así mismo para recuperar el ambiente ya contaminado. Por los fines de esta investigación es de gran utilidad para el presente trabajo.

En el año, 2015, Paiva, publicó su tesis en donde evalúa la capacidad de absorción y acumulación de plomo por la raíz, tallo hojas e inflorescencia en *Amaranthus spinosus* (*jatacco silvestre, opa jatacco ojo de pescados*) sometido a diferentes concentraciones de plomo. Concluye que *Amaranthus spinosus* tiene la capacidad de acumular en sus tejidos plomo al crecer en suelos contaminados hasta en la más alta concentración no muriendo la planta y demostrando tolerancia al metal. Este antecedente es un aporte para esta investigación por la descripción de las características de la fitorremediación.

En el año 2015, Yarasca, publicó su tesis en donde evaluó la capacidad de *Amaranthus Hybridus* (Amaranto), *Beta Vulgaris* (acelga) y *Medicago Sativa* (alfalfa), en la fitoextracción de plomo en suelos contaminados de concepción, así mismo la remoción del plomo será cuantificada por espectrofotometría de absorción atómica, que es un método instrumental, capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del Sistema Periódico. Se concluyó que la capacidad de acumulación que presentan las especies *Amaranthus Hybridus* y *Medicago Sativa* se presentan a medida que aumenta el tamaño y edad de la planta, lo que hace que estas especies presenten un potencial para la

remediación de suelos contaminados con plomo. Este antecedente es un aporte para esta investigación por la descripción de las características de la fitorremediación.

Martínez (2018), publicó su tesis en donde se evaluó, el estado de conservación de suelos contaminados por la Relavera “El Madrigal” y una propuesta de fitorremediación, ubicada en la margen derecha del río Colca en el departamento de Arequipa, provincia de Caylloma, distrito El Madrigal. Se identificó y evaluó las especies vegetales que crecen en los terrenos contaminados como producto de la actividad minera. Se identificó los agentes contaminantes del relave minero a partir de un análisis de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP), Se analizó los pasivos mineros de la Relavera “El Madrigal”, lo que ha ocasionado que dichos terrenos se conviertan en no cultivables o inservibles. Se concluye afirmando que la especie *Baccharis Salicifolia Pers* se comporta como especie fitoestabilizadora; mientras que la especie *Schoenoplectus Pungens (Vahl) Palla* como fitoextractora, ambas especies pueden usarse para la fitorremediación de depósitos de relave minero. Este antecedente es un aporte para esta investigación por la descripción de las características de la fitorremediación.

En el año 2019, Chamorro, publicó su tesis y se evaluó, la capacidad fitorremediadora del *Amaranthus blitum* para remover plomo de relaves mineros de la provincia de Oyon, El contenido de plomo inicial en el suelo para las concentraciones, fue de 956,1133,1169 y 1221 ppm respectivamente y al final del tratamiento en 50 días estas se redujeron a 903,1030,1103,1118ppm, respectivamente, Asimismo, el crecimiento *Amaranthus blitum* fue mayor en la concentración por el contenido de materia orgánica, pH alcalino y la concentración de Pb fue menor en el suelo. El tratamiento se midió algunos parámetros fisicoquímicos como pH y Potencial Redox que tienen relación con la

disminución de plomo del suelo. Se concluye que la capacidad fitorremediadora del *Amaranthus blitum* se da más en la parte aérea a diferencia de la parte de la raíz lo que quiere decir que el tipo de fitorremediación de la especie en mayor grado es de acumular el metal, respectivamente mayor acumulación se presenta en el tiempo 3 del proceso de fitorremediación. Este antecedente es un aporte para esta investigación por la descripción de las características de la fitorremediación.

En el año 2018, Asto publicó su tesis en donde se encontró, determinar la influencia de la *Putacca* y *Totora* para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros ya que son un problema latente para el ambiente, la utilización de especies nativas vegetales como la *putacca* (*Familia Apiaceae*) y *totora* (*Scirpus Californicus*) capaces de resistir y sobrevivir en suelos con altas concentraciones de metales pesados con el fin de estabilizar los parámetros físicos y químicos de las sustancias ricas en metales pesados como el plomo en estudio. Se utilizó el método de espectroscopia de absorción atómica para determinar la concentración de plomo (Pb) en los depósitos de relaves. Como resultado, la planta de especie nativa *Putacca* (*Familia Apiaceae*) influyo significativamente ( $P < 0.05$ ) en la concentración de plomo en los depósitos de relaves mineros, la cual mediante sus raíces absorbió en tres tiempos: tiempo inicial (T0: 0.0043 mg/L), tiempo medio después de 1 mes (T1: 0.0301 mg/L) y en el tiempo final (T2: 0.127 mg/L). Este antecedente es un aporte para esta investigación por la descripción de las características de la fitorremediación.

La realidad problemática de esta investigación, son que las minas polimetálicas subterráneas del Departamento Pasco tienen la misma problemática respecto a la contaminación de suelos con sus relaves, porque no se ha hecho una planificación a largo plazo de cómo hacer una remediación respecto a este problema, es por esto que esta

investigación pretende mostrar una realidad que ya se vienen aplicando este tipo de remediación con la finalidad de atender esta problemática en las minas polimetálicas en el Departamento de Pasco

Miñano (2017) nos da a conocer que una de las causas de la degradación de los recursos naturales en el Perú, son los diferentes pasivos ambientales mineros y las plantas concentradoras en actividad, generando volúmenes de ácidos de mina, originados por la oxidación de minerales sulfurosos, expuestos al aire y al agua, la dilución de metales pesados Fe, Mn, Pb, Cu, Al, etc., que se transportan por aguas superficiales contaminando suelos de zonas aledañas que no están contaminadas.

Asto (2018) nos dice que la minería a nivel global, es una de las actividades económicas que más ha crecido en la última década y que también ha ocasionado más contaminación histórica del medio ambiente, ya sea directa o indirecta. Mencionó que los relaves mineros son un problema latente para el ambiente y la sociedad.

El estado es el verdadero motor del cambio que todos esperamos en nuestro país, sin embargo, no lo es, se deben elaborar normas destinadas a mejorar la protección ambiental para las empresas mineras, con el fin de proteger y prevenir los suelos contaminados por pasivos ambientales, producto de los relaves mineros, las normas deben basarse también no solo para la gran minería sino también para la minería artesanal e ilegal. (Miñano, 2017)

Las plantas proporcionan un área superficial para microbios y para transportar el oxígeno produciendo una zona de oxidación en la rizósfera donde adicionalmente existirían poblaciones microbianas. Este complejo de vegetación y microbios tendría una alta eficiencia en modificar nutrientes, metales y otros compuestos. (Miñano, 2017)

Fitotecnologías, las cuales ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad; por ejemplo, el remover metales comprendería mucho gasto y mucho tiempo, dañando el ecosistema. (Ramírez, Torres, 2020).

Por todo lo antes expuesto, la presente investigación se justifica buscando investigar y resaltar las tecnologías de remediación y características fitorremediadoras económicamente más viables, que ayuden a detener la contaminación producidas por las relaveras de minas polimetálicas en Pasco, estos métodos y características se pueden clasificar en tres grupos principales: el método físico, es el reemplazo de suelo, aislamiento de suelo y tecnologías de vitrificación; el método químico, es la encapsulación, estabilización, solidificación y tecnologías de lavado, el método biológico, es la captación de metales por microorganismos. Sin embargo, las dos primeras son costosas, requieren trabajos intensivos y pueden generar contaminantes secundarios al ambiente y efectos adversos en la estructura del suelo y Problemas de infertilidad. Por lo tanto, existe la necesidad de una técnica de limpieza menos costosa y respetuosa con el medio ambiente. La fitorremediación que es una técnica económicamente eficaz que utiliza especies de plantas para descontaminar sitios terrestres contaminados por metales pesados. Esta tecnología es rentable, simple y respetuosa con el medio ambiente, con una interrupción ambiental mínima (Chamorro, 2019).

## **1.2. Bases teóricas**

Suelo contaminado:

Es aquel que sufrió cambios anómalos a las características físicas, químicas, biológicas debido a la presencia de uno o más cambios químicos que alteran su función o

calidad. Los criterios más sencillos para considerarse un suelo contaminado: primero es la concentración de cada compuesto del suelo, si se excede el valor propuesto, esto estará contaminado. (Barrios, Garcilazo, 2019)

*Tabla 1*  
*Estándares de calidad ambiental para el suelo*

N <sup>a</sup>	Parámetros	Usos del suelo			Método de ensayo
		Suelo agrícola	Suelo residencial/ parques	Suelo comercial/ industrial/ extractivos	
<b>Inorgánicos</b>					
<b>01</b>	Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EP 9013 AVAPHA-AWWA- WEF 4500 CN F
<b>02</b>	Arsénico total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050 -B EPA 3051
<b>03</b>	Bario total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050 -B EPA 3051
<b>04</b>	Cadmio total (mg/kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050 -B EPA 3051
<b>05</b>	Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
<b>06</b>	Mercurio total (mg/kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471 -B
<b>07</b>	Plomo total (mg/kg MS)	70	140	1200	EPA 3050 -B EPA 3051

*EPA: Environmental Protection Agency (agencia de protección ambiental de los estados unidos).*

*DIN: German institute for standardization.*

*MS: materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40 °C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra.*

#### Depósitos de relaves mineros:

Se trata de gigantescos depósitos de desechos tóxicos que contienen arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro y químicos propios del procesamiento minero que se acumulan en millones de toneladas. (Asto, 2018)

#### Metales pesados:

Son elementos químicos que tienen un alto porcentaje de elemento tóxico y /o venenoso en altas y muy bajas cantidades. Los metales pesados podrán ser por ejemplo el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. (Barrios, Garcilazo, 2019)

#### Pasivos Ambientales Mineros:

Los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) vienen a ser los daños no compensados producidos por una determinada empresa al medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación y cierre) (Martínez, 2018)

#### La biorremediación:

Es una alternativa biológica para el tratamiento de suelos contaminados, e involucra el uso de microorganismos para remover contaminantes orgánicos presentes en el suelo siendo las plantas las que estimulan estos procesos microbianos. (Miñano, 2017)

#### La fitorremediación:

Es una tecnología emergente que implementa especies vegetales para limpiar el medio ambiente de contaminantes y ha sido considerada como una alternativa rentable y no invasiva a los métodos de remediación convencionales. (Chamorro, 2019)

#### Características:

- Tecnología sostenible
- Eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
- Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
- Es poco perjudicial para el ambiente.
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
- Evita la excavación y el tráfico pesado.

- Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos.
- Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales)

Contaminantes susceptibles de ser tratados:

#### **INORGANICOS:**

- Metales pesados (micronutrientes o no): Fe, Cu, Mn, Mo, Zn, Cr, Ni, Cd, Co, Hg, Pb, V, W.
- Otros elementos tóxicos, As, Se, F.
- Isotopos Radioactivos,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ .
- Nutrientes, N, P.

#### **ORGANICOS:**

- Pesticidas.
- Hidrocarburos derivados
- Disolventes
- Explosivos
- PAHs – Hidrocarburo aromático policíclico
- PCBs – policlorobifenilos

Cortez (2019) indicó los siguientes métodos que desarrolla la fitorremediación:

### Fitoextracción:

Consiste en la absorción de los metales pesados desde las raíces hasta las partes aéreas de las plantas, captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas.

### Características:

- En la zona contaminada se plantan las especies que se seleccionan. Cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran.
- Las cenizas se pueden lavar para recuperar los metales o bien, pueden confinarse en vertederos de tóxicos, con la ventaja de que ocuparán un espacio mucho menor que el que se usaría si se desechara el suelo contaminado.
- Plantas empleadas para este método son: *Brassica juncea*, *Helianthus annuus*; *Brassica napus*.
- Metales recuperados exitosamente Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc.
- Contaminantes Inorgánicos

### Plantas Típicas Empleadas (HIPERACUMULADORAS)

- Girasol (*Helianthus annuus*)
- Mostaza de la India (*Brassica juncea*)
- Nabos (*Brassica napus*; *B. rapa*)

- Cebada (*Hordeumvulgare*)
- Lúpulo (*Humuluslupulus*)
- Ortigas (*Urtica dioica; U. urens*)
- Diente de León (*Taraxacumofficinale*)
- *Thlapsicaerulescens*
- *Brassicajuncea*
- *Pelargoniumspp.*
- *Allysumlesbiacum*

#### Fitoimmobilización:

Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.

#### Características:

- Contaminantes orgánicos e inorgánicos
- Hidrocarburos derivados del petróleo y poli aromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.

#### Fitovolatilización:

Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera

#### Características:

- Mediante este proceso se han eliminado contaminantes como: compuestos orgánicos volátiles (benceno, nitrobenceno, tolueno, etilbenceno y m-xileno), As, Se y Hg.
- Contaminantes orgánicos e inorgánicos
- Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)

#### Rizofiltración:

Es el uso de raíces para absorber y retener contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Las plantas se cultivan en tanques con agua contaminada y los tóxicos quedan fijados en sus raíces

#### Características:

- A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final.
- Plantas acuáticas.

- *Scirpus lacustris* (Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr), *Lemna gibba* (Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn), *Azolla caroliniana* (Hg, Cr Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt).
- Contaminantes orgánicos e inorgánicos.

#### Plantas Típicas Empleadas:

- *Brassica juncea*
- *Chenopodium amaranticolor*.

#### Fitoestabilización:

Se basa en el uso de plantas tolerantes a metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, disminuyendo su movilidad y biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos en suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la fitoextracción.

#### Características:

- Es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica.
- Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire.
- Se utilizarán especies vegetales nativas para inmovilizar contaminantes en el suelo, sedimentos y lodos.

- Disminuye la biodisponibilidad (cantidad presente) de metales para su entrada a la cadena alimenticia
- Contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Lagunas de desecho de yacimientos mineros, propuesto para fenólicos y compuestos clorados.

#### Plantas Típicas Empleadas:

- Árboles freatrófitos que transpiren grandes volúmenes de H<sub>2</sub>O.
- Pastos con raíces fibrosas que estabilicen la erosión del suelo,
- Plantas con sistemas radiculares robustos capaces de absorber/unir contaminantes (*Festuca*, *Lolium*).

#### Fitodegradación:

Consiste en la degradación de contaminantes orgánicos por las enzimas de las plantas o por la acción de microorganismos rizosféricos.

#### Características:

- Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrolueno) atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.
- Contaminantes orgánicos

Según Martínez (2018), nombra las Características de la fitorremediación

#### Ventajas

- Estéticamente agradable.
- Menos destructivos que las técnicas y métodos comunes.
- Efectivas en la reducción de contaminantes.
- Bajo costo, económicamente viable.
- Aplicable a un amplio rango de contaminantes.
- Método ambientalmente amigable.
- Algunos metales sirven como nutrientes en algunas plantas.

#### Desventajas

- El método consume mucho tiempo.
- Aumento de producción de biomasa.
- Profundidad de las raíces.
- Química del suelo.
- Nivel de los contaminantes.
- Edad de la planta.
- Concentración de los contaminantes.

- Impacto de la vegetación contaminada.
- Condiciones climáticas.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es la evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco, 2020?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco, 2020.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Describir de los parámetros geológicos, de extracción, situación previa a la remediación y tipo de biorremediación de las operaciones de las minas subterráneas polimetálicas en Pasco.
- Analizar las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco.
- Comparar y proponer las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco.

- Proponer el método con mayor viabilidad utilizado para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas subterráneas polimetálicas en el Perú 2020.

### **1.5. Hipótesis**

La evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes, nos ayudará a identificar los métodos más adecuados, para la recuperación de los suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020.

Por ser una investigación descriptiva – cualitativa no requiere hipótesis porque, solo se resaltarán las características y no estamos manipulando ni aplicando ningún tipo de medición. Se buscará cuáles son estas características que predominan sobre otras, en la elección del método de biorremediación, pero no significa que se aplique o implemente y con ello mejore algo.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 Tipo de investigación**

#### **1.1.1. Enfoque**

El enfoque considerado para esta investigación es el cualitativo, Por tanto, esta investigación descriptiva utiliza la recolección de datos para descubrir o resaltar las características de manera conceptual. (Hernández, 2014)

#### **1.1.2. Diseño**

La presente investigación es de diseño no experimental, la investigación resulta imposible manipular variables. Así mismo esta investigación presenta un corte transversal, tiene como propósito describir variables y analizar su incidencia (Hernández, 2014)

#### **1.1.3. Tipo**

Esta investigación se enmarca dentro del tipo descriptiva, comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual. (Hernández, 2014)

### **2.2 Población y Muestra**

#### **2.2.1 Población**

Esta tesis presenta como población objetivo la población muestral Relaveras de minas polimetálicas en etapa de cierre en la región de Pasco.

#### **2.2.2 Muestra**

Se ha determinado como muestra por un análisis no probabilístico a las relaveras de siete minas subterráneas polimetálicas en etapa de cierre que han aplicado la biorremediación en la región de Pasco.

### **2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Para la obtención de la muestra se realizó a través la recolección de información bibliográfica acerca de las características de los métodos de biorremediación de la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas polimetálicas en Pasco 2020, el cual servirá como base para el análisis y discusión de los resultados métodos de esta investigación.

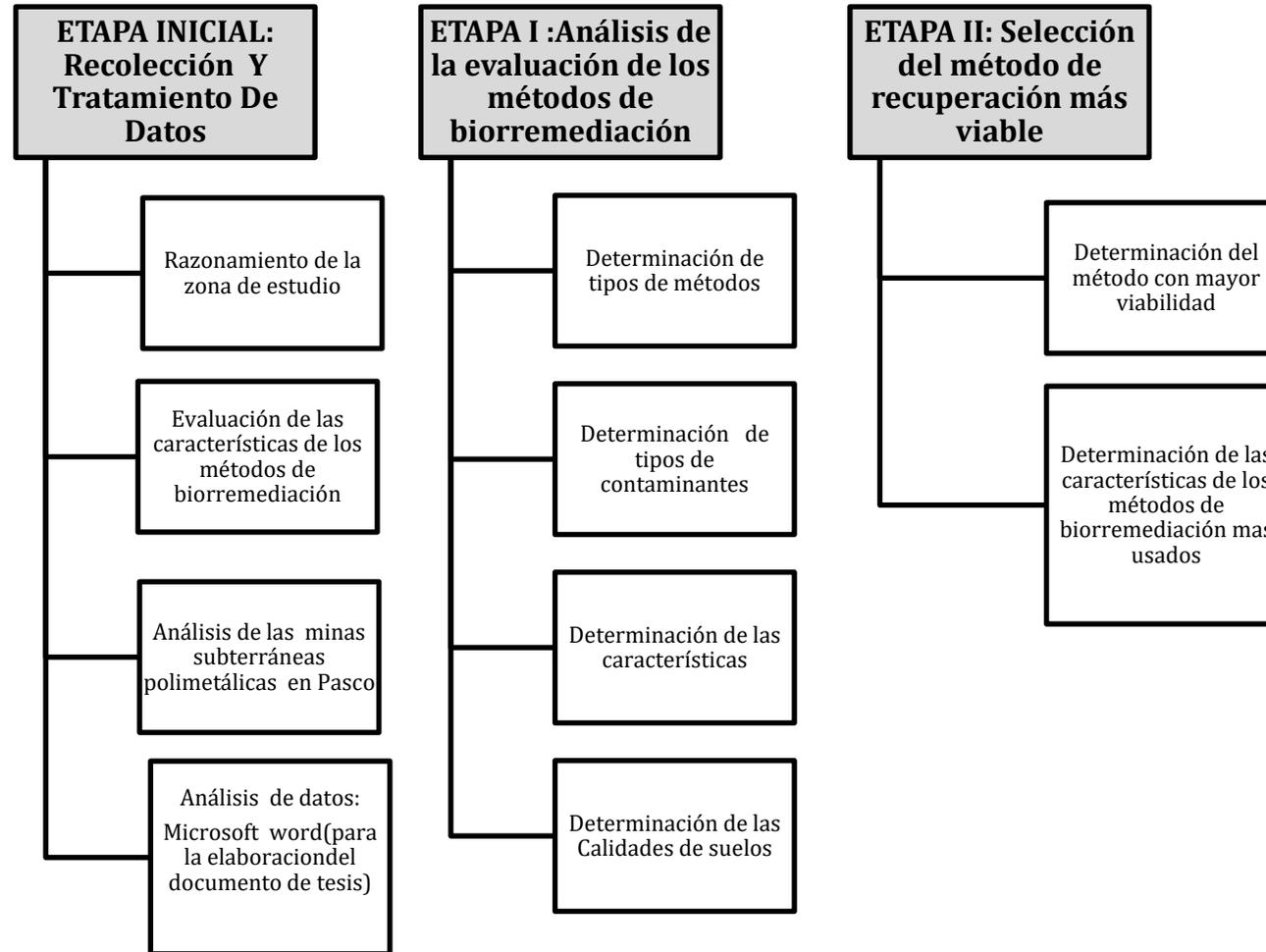
En el análisis de datos, se seleccionó la información extraída de bibliotecas virtuales como Scielo, Google académico y biblioteca UPN. De todo ello se recopiló artículos relacionados con la recuperación de suelos, tema seleccionado a investigar.

Luego de tener una sólida información que alimente al tema de investigación, se estructuró una base de datos en Excel, para hacer una síntesis de búsqueda avanzada que nos ayudó a filtrar la información recaudada y con ello poder desarrollar el Capítulo III de resultados.

### **2.4 Procedimiento**

En el presente estudio se utilizó un instrumento para registrar información o datos sobre las variables, Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental para comparar características de las minas subterráneas polimetálicas que han recuperado suelos contaminados por relaveras, con la biorremediación.

Figura 1



#### 1.4.1. Aspectos éticos de la investigación

Se está citando a todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas en esta investigación, también contamos con la autorización de la institución en estudio para recolectar la información necesaria, dicha información será usada solo con fines académicos, basándonos en el método científico y sin dejar de lado valores que un investigador debe observar; todos los resultados se presentan sin alterar datos reales.

Esta tesis presenta como población objetivo la población muestral a las relaveras de minas subterráneas polimetálicas en etapa de cierre que han aplicado la biorremediación.

Se ha determinado como muestra por un análisis no probabilístico a las relaveras de minas subterráneas polimetálicas en etapa de cierre que han aplicado la biorremediación. (Hernández, 2014)

- Describir de los parámetros geológicos, de extracción, situación previa a la remediación y tipo de biorremediación de las operaciones de las minas subterráneas polimetálicas en Pasco.
- Analizar las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco.
- Comparar y proponer las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco.
- Proponer el método con mayor viabilidad utilizado para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas polimetálicas en el Perú 2020.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

**2.1.** Se muestra la ubicación y tipo de remediación en las operaciones mineras de cierre en el centro del Perú:

*Tabla 2*

*Reportes aprobados de plan de cierre de pasivos ambientales Mineros Zona Central Perú 2015 – 2020*

EMPRESA	PROYECTO	REGION	PROVINCIA	DISTRITO	FECHA
Activos Mineros SAC	Ex Unidad Minera Lichicocha	Junín	Yauli	Marcapomacocha	09/03/2017
Activos Mineros S.A.C.	Ex U.M. Caudalosa 1	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Santa Ana de Turi	28/02/2019
Activos Mineros S.A.C.	Ex U.M. Azulmina 1 Y 2	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Santa Ana de Turi	26/02/2019
Activos Mineros S.A.C.	Ex U.M. Carhuacayar	Junín	Yauli	Santa Barbara de Caehuacan	14/01/2020
Compañía Minera Atacocha	Atacocha, Malauchaca I Y II	Pasco	Pasco	Huarica	01/01/2015

Fuente: MIENM

*Tabla 3*

*Relaves de minas polimetálicas remediadas en Pasco- Perú*

EMPRESA	PROYECTO	REGION	PROVINCIA	DISTRITO	TIPO REMEDIACIÓN
Centro Min Perú SA.	Yanamate	Pasco	Cerro de Pasco	Simón Bolívar	Fitorrem
Activos Mineros S.A.C.	Ex U.M. Caudalosa 1	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Santa Ana de Turi	Encapsula revege
Activos Mineros S.A.C.	Ex U.M. Azulmina 1 Y 2	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Santa Ana de Turi	Encapsula revege
Cerro SAC.	Minera Rumiallana.	Pasco	Pasco	Simón Bolívar	Fito estab
Centro Min Perú SA.	Ocroyoc	Pasco	Cerro de Pasco	Quiulacocha	Encapsula revege
Centro Min Perú SA.	Patacocha	Pasco	Pasco	Chaupimarca	fitorrem
Compañía Minera Atacocha	Atacocha, Malauchaca I Y II	Pasco	Pasco	Huarica	Encapsula revege

Fuente: Elaboración propia

2.2. Describir de los parámetros geológicos, de extracción, situación previa a la remediación y tipo de biorremediación de las operaciones de las minas subterráneas polimetálicas en Pasco.

Tabla 4  
Parámetros básicos

	<b>CENTROMIN PERU- Yanamate</b>	<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Caudalosa 1</b>	<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Azulmina 1 Y 2</b>	<b>CERRO SAC - Minera Rumiallana.</b>	<b>CENTROMIN PERU- Ocroyoc</b>	<b>CENTROMIN PERU- Patarcocha</b>	<b>UNIDAD MINERA ATACAMA Atacocha, Malauchaca</b>
<b>Ubicación</b>	Chauimarca	Santa Ana de Turi	Santa Ana de Turi	Yanacancha	Huarica	Chaupimarca	Huarica
<b>Geología</b>	En la zona de la laguna Yanamate, se presentan formaciones calizas en bancos gruesos, con horizontes de dolomita, caliza arenosa, y exquisitos.	Depósitos Cenozoicos conformado por Depósitos Morrénicos y fluvioglaciares, finalmente intruidos por rocas ígneas del batolito de Huánuco.	Las principales formaciones geológicas de la zona de estudio y alrededores a escala regional son: Complejo del Marañón (Pe-eme), Grupo Mítu (Ps-m).	Están compuestas de filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas. Constituyen el núcleo del anticlinal de Cerro de Pasco.	En la zona de la laguna Yanamate, se presentan formaciones calizas en bancos gruesos, con horizontes de dolomita, caliza arenosa, y exquisitos.	En la zona de la laguna Yanamate, se presentan formaciones calizas en bancos gruesos, con horizontes de dolomita, caliza arenosa, y exquisitos.	El relieve es accidentado, profundo, de gran longitud, con vertientes de fuerte inclinación.
<b>Yacimiento</b>	Cuprífero, epitermal de baja sulfuración Hierro, Aluminio, Magnesio, Zinc, Cobre, oro	Polimetálico de zinc	netamente de plata	Cuprífero, epitermal de baja sulfuración Hierro, Aluminio, Magnesio, Zinc, Cobre, oro	Cuprífero, epitermal de baja sulfuración Hierro, Aluminio, Magnesio, Zinc, Cobre, oro	Cuprífero, epitermal de baja sulfuración Hierro, Aluminio, Magnesio, Zinc, Cobre, oro	constituidos por blenda y galena, última enriquecida en plata, denominándose galena argentada.
<b>Método de Explotación.</b>	Subterráneo - Corte y Relleno descendente.	Subterráneo – corte y relleno ascendente	Subterráneo – corte y relleno ascendente	Subterráneo -Corte y Relleno descendente.	Subterráneo -Corte y Relleno descendente.	Subterráneo -Corte y Relleno descendente.	Corte y relleno ascendente
<b>Proceso de Recuperación.</b>	Chancado, Lixiviación y planta	flotación	flotación	Chancado, Lixiviación y planta	Chancado, Lixiviación y planta	Chancado, Lixiviación y planta	Chancado, Lixiviación
<b>Aditivos.</b>	Calcinas de zinc para la recuperación de oro,	Aditivos utilizados para flotación	Aditivos utilizados para flotación	Calcinas de zinc para la recuperación de oro	Calcinas de zinc para la recuperación de oro	Calcinas de zinc para la recuperación de oro	Ácidos y cianuro
<b>Manejos de Residuos</b>	En Lagunas (relaveras)	Desmonte y relaveras	Desmonte y relaveras	En Lagunas (relaveras)	En Lagunas (relaveras)	En Lagunas (relaveras)	relaveras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5  
Información Del Sitio Contaminado

	Situación	Muestreo	Contaminantes presentes (El Límite Máximo Permisible según el Decreto Supremo 010-2010-MINAM)
<b>CENTROMIN PERU- Yanamate</b>	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, También se puede apreciar diferentes texturas y coloración en partes rojizo, plomo, verdoso y otros.	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 m <sup>2</sup> ) y 3 o 4 para áreas hasta 5 000 m <sup>2</sup> , según sea el caso. El suelo con la presencia de sales y la formación de hidróxidos de diferentes metales que contiene el agua residual acida de la operación minera.	Concentración de hierro, 3585 mg/L- máximo permisible debe de ser 2 mg/L. Concentración de zinc, 210.5 mg/L- máximo permisible debe de ser 1.5 mg/L. Concentración cobre 59.17, mg/L- máximo permisible debe de ser 1.5 mg/L. Concentración de aluminio 273.30 mg/L – no hay límite máximo permisible. Concentración de manganeso 159.7 mg/L – no hay límite máximo permisible.
<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Caudalosa 1</b>	Tiene un área superficial de 3 585,14 m <sup>2</sup> ; está emplazada sobre una secuencia de suelo fluvio-glaciar y sobre yace sobre roca arenisca. En el entorno, se observan grandes afloramientos de composición arenisca, cubiertos por delgadas secuencias de material fluvio-glaciar y morrenas.	Han identificado 08 unidades de suelos que han sido agrupadas taxonómicamente y descritas en seis (06) Subgrupos según el Soil Taxonomy USDA (2014).	Concentración de cromo, Hidrocarburos de petróleo se encuentran dentro del máximo permisible. El cianuro libre si excede ligeramente el límite permisible 0,927 mg/Kg. Concentración de metales como el arsénico, plomo, mercurio y cadmio superan el límite permisible. Concentración de parámetros orgánicos como el xileno etilbenceno, tolueno y benceno se encuentran por encima de los límites permisibles. Plomo, zinc y cobre
<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Azulmina 1 Y 2</b>	Depósito de Relave (Azulmina 1, 2), ocupa 10 185,50 m', y un volumen de 41980 m <sup>3</sup> , plano CSL-171100-1-2-T0-04. El relave presenta consistencia muy blanda en un espesor desde 2 m hasta 5 m.	Se recolectó 03 muestras de la planta (parte aérea y raíz) y su respectivo suelo rizósferico.	Pb, con valores de 50.43 (mg/kg) Cd con valores de 13.43 (mg/kg) As con valores de 4.63 (mg/kg)
<b>CERRO SAC - Minera Rumiallana.</b>	Altas concentraciones de metales pesados y bajo contenido de materia orgánica, más un pH muy bajo, desmonte que se acumulada en la desmontera minera, acumulado durante las tres últimas décadas, siendo fuente de contaminación por metales pesados, propiedad de Cerro SAC.	Área total del depósito de relaves 116.89 Ha Área del estanque de aguas ácidas 27.45 Ha Área del depósito seco y semiseco 89,44 Ha Análisis químico y físico por Diresa – octubre 2008	predominando el hierro (Fe) en 3493 mg/l Zinc (Zn) en 1023 mg/l Manganeso (Mn) en 1606 mg/l As 0.0114ppm, Cd0.00114ppm, Cr 0.0049ppm, Cu 0.0116ppm, Fe 0.627ppm, Pb 0.04ppm, Zn 0.00114ppm
<b>CENTROMIN PERU- Ocroyoc</b>	La masa de relaves se ha calculado en unos 78.7 millones de toneladas ocupando un área de 116.89 Ha depósito de Ocroyoc	Perímetro de 1322.64 metros aproximadamente, área de 113,844.80 m <sup>2</sup>	Plomo, zinc y cobre
<b>CENTROMIN PERU- Patarcocha</b>	Depósito alrededor de 380,000 m <sup>3</sup> de relaves (unas 750,000 t de relaves)		
<b>UNIDAD MINERA ATACOCHA - Atacocha, Malauchaca I Y II</b>			

Fuente: Elaboración propia

**2.3.** Analizar la evaluación de los métodos de biorremediación más usados eficientemente para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco.

Tabla 6

Características Biorremediadoras

	METODO DE BIOREMEDIACION	CARACTERISTICAS
<b>CENTROMIN PERU-Yanamate</b>	Fitorremediación	Resistencia: Adaptabilidad de las plantas al entorno contaminado. No contamina El costo: relativamente bajo, Se uso la planta <i>Stipa Ichu</i> que crece en la zona afectada Tiempo y duración: largo plazo 1 0 2 años, depende de los factores de cada lugar Reciclable, se vuelve a plantar los nuevos brotes de la planta <i>Stipa Ichu</i> Alta probabilidad de aceptación, planta nativa de la zona Acumula varias sustancias y metales Eficaz: en la extracción de metales pesados
<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Caudalosa 1</b>	Encapsulamiento y revegetación	Estabilidad geoquímica Geomembrana(impermeabilidad). Geotextil de protección Material granular (0.20 m de espesor función de filtro y drenaje) Caliza Top soll (0.20 m de espesor) dar sustento a las especies sembradas. Revegetación (especie <i>Calamagrostis</i> ) se desarrolla en suelos pobres, franco-limosos, de buen drenaje. Tiempo: monitoreo semestral por 5 años
<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Azulmina 1 Y 2</b>	Encapsulamiento y revegetación	Estabilidad geoquímica Geomembrana(impermeabilidad). Geotextil de protección Césped de puna y pajonal de puna <i>Calamagrostis fuscata</i> , <i>Anaterostipa obtusa</i> , <i>Agrostis tofucensis</i> Tiempo: frecuencia semestral durante los dos (02) primeros años y. posteriormente. anual por un periodo de tres (03) años. Material de roca, agregados y top soil Costo: la zona indicada 550,760.51 S/.
<b>CERRO SAC - Minera Rumiallana.</b>	Fitoestabilización	Alta tolerancia de aceptación de los metales pesados La planta nativa Taya ( <i>Baccharis tola</i> Phil.) FITOESTABILIZADORA Alta probabilidad de aceptación, planta nativa de la zona Acumula varias sustancias y metales Eficaz: en la extracción de metales pesados 1 0 2 años, depende de los factores de cada lugar No contamina

<b>CENTROMIN PERU- Ocroyoc</b>	Encapsulamiento y revegetación	Planta de neutralización, neutralizando las aguas ácidas mediante el proceso activo con hidróxido de calcio Método de encapsulamiento con Geomembranas y cobertura vegetal Cumple con la reglamentación vigente Protege la salud y seguridad pública Previene a largo plazo la degradación del ambiente Uso productivo de las áreas afectadas Tiempo: monitoreo de 4 años Estabilidad geoquímica Geomembrana(impermeabilidad). Geotextil de protección
<b>CENTROMIN PERU-Patarcocha</b>	Fitorremediación	Planta berros Tiempo 7 a 10 meses Costo: S/. 37,513.20 para la forestación de la zona Alta probabilidad de aceptación, planta nativa de la zona Acumula varias sustancias y metales Eficaz: en la extracción de metales pesados No contamina Reciclable
<b>UNIDAD MINERA ATACOCHA - Atacocha, Malauchaca I Y II</b>	Encapsulamiento y revegetación	Tiempo de 5 a 7 años Cumple con la reglamentación vigente Protege la salud y seguridad pública Previene a largo plazo la degradación del ambiente Uso productivo de las áreas afectadas Tiempo: monitoreo de 4 años Estabilidad geoquímica Geomembrana(impermeabilidad). Geotextil de protección

*Fuente: Elaboración propia*

**2.4. Comparar y proponer la evaluación de los métodos de biorremediación más usados, de manera eficientemente para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco.**

*Tabla 7*

*Comparación Método – Características*

	<b>CENTROMIN PERU- Yanamate</b>	<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Caudalosa 1</b>	<b>ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Azulmina 1 Y 2</b>	<b>CERRO SAC - Minera Rumiallana.</b>	<b>CENTROMIN PERU- Ocroycoc</b>	<b>CENTROMIN PERU-Patarcocha</b>	<b>UNIDAD MINERA ATACOCCHA - Atacocha, Malauchaca I Y II</b>
<b>METODO</b>	Fitorremediación	Encapsulamiento y revegetación	Encapsulamiento y revegetación	Fitoestabilización	Encapsulamiento y revegetación	Fitorremediación	Encapsulamiento y revegetación
<b>DURACION</b>	Largo plazo 1 0 2 años	Periodo de tres (03) años	Periodo de tres (03) años	1 0 2 años, depende de los factores de cada lugar	Monitoreo de 4 años	Tiempo 7 a 10 meses	Tiempo de 5 a 7 años
<b>COSTO</b>	Bajo costo, uso de la planta que crece en la zona contaminada	Alto costo	Alto costo	Bajo costo	Alto costo	Alto costo	Alto costo
<b>CONTAMINA</b>	No contamina	Probabilidad de rotura del encapsulamiento a un largo plazo	Probabilidad de rotura del encapsulamiento a un largo plazo	No contamina	Probabilidad de rotura del encapsulamiento a un largo plazo	No contamina	Probabilidad de rotura del encapsulamiento a un largo plazo
<b>CUIDADO DEL AMBIENTE</b>	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original	Devuelve el ecosistema a su estado original
<b>ADAPTABILIDAD</b>	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona	Alta probabilidad por ser una planta originaria de la zona
<b>RECICLABLE.</b>	Se replanta los nuevos brotes que nace de la planta	No es reciclable	No es reciclable	Se replanta los nuevos brotes que nace de la planta	No es reciclable	Se replanta los nuevos brotes que nace de la planta	No es reciclable
<b>RESISTENCIA</b>	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos
<b>EFICACIA</b>	alta	Relativamente alta	Relativamente alta	alta	Relativamente alta	Relativamente alta	Relativamente alta
<b>TRATA DIVERSOS CONTAMINANTES</b>	si	si	si	si	si	si	si

*Fuente: Elaboración propia*

**2.5. Proponer el método con mayor eficiencia utilizado para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en el Perú 2020.**

*Tabla 8*

*Características*

METODO	OPERACION MINERA	CARACTERISTICAS	
FITORREMEDIACION	CENTROMIN PERU-Yanamate	DURACION	El método es largo plazo 1 0 2 años, depende de los factores de cada lugar.
		COSTO	Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
	CERRO SAC - Minera Rumiallana.	CONTAMINACION	No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
		CUIDADO DEL AMBIENTE	Método ambientalmente amigable, Estéticamente agradable y Algunos metales sirven como nutrientes en algunas plantas.
		ADAPTABILIDAD	Se utilizarán especies vegetales nativas para inmovilizar contaminantes en el suelo, sedimentos y lodos.
	CENTROMIN PERU-Patarcocha	RECICLABLE	Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales).
		RESISTENCIA	Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.
		EFICACIA	Eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
TRATA DIVERSOS CONTAMINANTES		Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos.	
ENCAPSULAMIENTO Y REVEGETACIÓN	ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Caudalosa 1	DURACION	El método es a largo plazo, monitoreo semestral por 5 años.
		COSTO	Relativamente alto, si requiere personal especializado para su manejo, consumo de energía y material especial.
		CONTAMINACION	Probabilidad de rotura del encapsulamiento a un largo plazo.
	ACTIVOS MINEROS - Ex U.M. Azulmina 1 Y 2	CUIDADO DEL AMBIENTE	Devuelve el ecosistema a su estado original. Estéticamente agradable
		ADAPTABILIDAD	Alta probabilidad por utilizar plantas originarias de la zona.
	CENTROMIN PERU- Ocroyoc	RECICLAJE	Relativamente, por el encapsulamiento de material, No es reciclable.
		RESISTENCIA	Metales pesados, Químicos, orgánicos e inorgánicos
		EFICACIA	Relativamente alta.
UNIDAD MINERA ATACOCHA - Atacocha, Malauchaca I Y II	TRATA DIVERSOS CONTAMINANTES	Aplicable a un amplio rango de contaminantes.	

*Fuente: Elaboración propia*

OPERACION MINERA		CARACTERISTICAS	
FITORREMEDIACION	CENTROMIN PERU-Yanamate	COSTO	Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
		CONTAMINACION	No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
		CUIDADO DEL AMBIENTE	Método ambientalmente amigable, Estéticamente agradable y Algunos metales sirven como nutrientes en algunas plantas.
		ADAPTABILIDAD	Se utilizarán especies vegetales nativas para inmovilizar contaminantes en el suelo, sedimentos y lodos.
		RECICLABLE	Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, metales).
		RESISTENCIA	Es aplicable a ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.
		EFICACIA	Eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
		TRATA DIVERSOS CONTAMINANTES	Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos.

*Tabla 9  
Método y características propuestos con Mayor Viabilidad*

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 3.1. Discusión

De acuerdo a la situación previa para la biorremediación de suelos contaminados y sus parámetros geológicos, como se muestran en la Tabla 4, de las operaciones mineras subterráneas polimetálicas en Pasco, podemos describir un problema grave de contaminación por metales pesados detallados en la Tabla 5, y que los parámetros geológicos que existe en estas siete operaciones mineras son similares, por los yacimientos de cobre, plata, oro, hierro y zinc que existen en toda la región Pasco. Lo cual concuerda con el estudio de, Picoy (2016), se determinó que la empresa minera Centro Min Perú afecto las condiciones ambientales del suelo superficial de la laguna Yanamate, encontrando rangos con concentraciones de hierro 3585 mg/L, zinc 210.5 mg/L, cobre 59.17 mg/L, aluminio 273.30 mg/L, manganeso 159.7 mg/L, excediendo el límite máximo permisible por el mal manejo de pasivos ambientales.

Con respecto al análisis de las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco. Se encontró en los datos de la Tabla 6, que, en estas operaciones mineras, una similitud existente de nueve características más usadas en los métodos de biorremediación.

En la propuesta de Acebedo (2018) dice que la biorremediación, es uno de los métodos que más aceptación tiene en el mundo, utilizando características económicamente sustentables, ofreciendo una solución ecológica, utilizando especies vegetales, para que en el futuro vuelva a tener características similares a la original, repoblando especies vegetales y animales.

Luego de un análisis y comparación de la información encontrada en las Tablas 7 y 8, se propone el método y las características con mayor viabilidad, para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas polimetálicas en Pasco, ya que comparando las características de cada método de

biorremediación que se utiliza en la región de Pasco, el más viable económicamente sería el método de fitorremediación.

En la investigación de Nesterenko, (2016) utilizó la fitorremediación con la especie *Zea Mays*, obteniendo resultados de acuerdo a sus características. Eficacia en la diversidad de géneros utilizados para este fin. Algunas de ellas, la capacidad de adaptarse a los metales pesados, especies que absorben, almacenan, metabolizan, evaporizan los contaminantes que se encuentran en el agua, aire, suelos o sedimentos como: compuestos orgánicos e inorgánicos.

Asimismo, Ledesma (2018), analizó la experiencia exitosa de biorremediación ambiental con encapsulamiento del suelo contaminado por el depósito de relaves, con geomembranas y cobertura vegetal realizados por la empresa CentroMin Perú demostrado a través del tiempo, la remediación ambiental de los ecosistemas dañados por los relaves mineros y recuperación de su relieve original.

Del mismo modo, Solis (2020), demostrando la veracidad de los métodos de encapsulamiento de residuos mineros, como el caso de Ticapampa - Pasco; no obstante, considera que es necesario realizar una evaluación de costos, por sus materiales y personal especializado que son de alto costo.

### **3.2. Limitaciones**

Debido a que el estudio de los métodos de la recuperación de suelos se encuentra en el departamento de Pasco, se nos dificultó recaudar la información sobre el estado de los suelos en las zonas mineras de Pasco. Pero con el apoyo de algunos colegas en la región, pudimos lograr el objetivo.

### 4.3. Conclusiones

En esta tesis se describió y se pone en conocimiento los parámetros geológicos, de extracción y rangos de contaminación, situación previa para tener una remediación eficiente. Porque de esta manera elegimos el tipo de biorremediación económicamente más viable para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco.

Se analizó y recaudó información en tablas, incluyendo todas las características similares de cada método de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco. Considerando y determinando la elaboración de una tabla de nueve características viables.

Se comparó mediante la elaboración de tablas, nueve características de cada método de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco. Proponiendo como resultado positivo una tabla de ocho características económicamente viables.

Después de recaudar información y analizar todas las características similares, incluyendo solo las ocho características con resultados positivamente viables para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas polimetálicas en el Perú 2020. Obteniendo como resultado, proponer el método de FITORREMEDIACION con características de bajo costo, no produce contaminantes, amigable ambientalmente, utilización de especies vegetales nativas del lugar para su adaptabilidad, se puede reciclar recursos, resistente a altas y bajas concentraciones de metales y químicos, trata diversos contaminantes y positivamente eficiente. Todo lo contrario con el método de encapsulamiento de residuos mineros que conlleva a un alto costo de materiales y mano de obra.

## REFERENCIAS

- Acevedo, W. (2018). *Propuesta de Fito estabilización del tranque de relaves de la minera los maitenes en la comuna de Puchuncavi*. Viña del Mar: Universidad Técnica Federico Santa María .
- Aiva , G. (2015). *Fitorremediacion de suelos contaminados con plomo utilizando Amaranthus spinosus – Amaranthaceae en Cusco 2012*. Cusco - Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Asto, J. (2017). *Influencia de la putacca y totora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros en la compañía minera tambo del cóndor s.r.l - Ayacucho – 2017*. Huancavelica - Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Barrios, M., & Garcilazo, A. (2019). *Capacidad fitorremediadora de Ricinus communis “Higuerilla” sobre Arsénico y Plomo de suelos contaminados del sector La Porfía Pataz*. Trujillo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Chamorro , L. (2019). *Capacidad fitorremediadora de Amaranthus blitum para remover plomo de relaves mineros de la provincia de Oyon, 2019*. Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Cortez , D. (2019). *Técnicas de fitorremediacion para solucionar la contaminación de suelos por actividad minera*. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Gil, F. (2020). *Evaluación de la fitorremediacion con sesuvium portulacastrum para la extracción de metales pesados de un relave minero proveniente de una operación minera y de suelos y aguas contaminadas artificialmente con metales pesados*. . Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guerreo, D. (2017). *Tecnologías de revegetación en suelos impactados por actividades mineras, experiencias en el Perú*. Lima - Perú: Universidad Agraria La Molina.
- Ledesma, W. (2018). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras*. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Martínez, L. (2018). ) *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediacion*. . Arequipa - Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Miñano, A. (2017). *Evaluación taxonómica y ecogeográfica de las especies vegetales del área de pasivos ambientales mineros en ticapampa - Áncash, Perú con fines de fitorremediacion*. Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Murga , L. (2011). *Evaluacion física, química y biológica de la laguna de Patarcocha – Cerro de Pasco y propuesta de recuperación ecológica*. Trujillo - Perú: Universidad Nacional de Trujillo.

- Nesterenko, N. (2016). *Fitorremediación de los suelos contaminados con zinc de la minera “toma la mano” vicos - Áncash, por la especie (Zea Mays) bajo condiciones controladas*. Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Piava, G. (2015). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Amaranthus-Amaranthaceae en Cuzco 2012* . Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Picoy, J. (2016). *Tratamiento de la contaminación de los suelos de la laguna de Yanamate empleando la tecnología de la fitorremediación*. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Ramírez, K., & Torres, I. (2019). *Eficacia de la fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Phragmites australis y enmienda en los pasivos ambientales de paredones- Cajamarca, 2019* . Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Solís, S. (2020). *Determinación de la hiperacumulación de Metales pesados cd, pb y as en la planta nativa Taya (baccharis tola phil.) De la desmontera minera Rumiallana entre los distritos de Yanacancha y Simón bolívar, pasco, 2019 – 2020* . Huánuco - Perú: Universidad de Huánuco.
- Yarasca, J. (2015). *Modelo sistémico para evaluar la recuperación de suelos contaminados por plomo en el distrito de concepción*. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

## ANEXOS

### ANEXO N.º 1 Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

<p><b>Nombre del Documento:</b> “TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACION DE LOS SUELOS DE LA LAGUNA DE YANAMATE EMPLEANDO LA TECNOLOGIA DE LA FITORREMEDIACION 2016”</p> <p><b>Tipo de Documento Investigado:</b> Tesis pregrado, Para Optar El Título Profesional De Ingeniera Ambiental.</p> <p><b>Fecha y lugar de Publicación del documento:</b> Cerro de Pasco, mayo del 2016</p> <p><b>Autor/Autores del documento:</b> July Estefany Picoy Santiago</p> <p><b>Documento dirigido para:</b> Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión” Facultad De Ingeniería Escuela De Formación Profesional De Ingeniería Ambiental</p>		<p><b>Nombre de la Operación Minera:</b> Centro Min Perú SA. - Yanamate</p> <p><b>Explotación subterránea</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Mina Polimetálica</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Contaminación por Relaveras</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Rangos de contaminación por metales pesados</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>		si	no	si	no	si	no	si	no
si	no										
si	no										
si	no										
si	no										
		<b>Características</b>		<b>si</b>	<b>no</b>						
		Duración		X							
		Costo		X							
		Contamina		X							
<b>Tipo de Remediación</b>		<b>si</b>	<b>no</b>	Cuidado del ambiente							
				X							

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN MÁS EFICIENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON RELAVES DE MINAS SUBTERRÁNEAS POLIMETÁLICAS EN PASCO, 2020

Fitorremediación.	X		Adaptabilidad	X	
Encapsulamiento y revegetación.			Reciclable	X	
Fitoextracción.			Resistencia	X	
Fitoestabilización.			Eficacia	X	
Rizofiltración.			Trata diversos contaminantes	X	

Análisis documental de la operación minera en remediación, Centro Min Perú SA. - Yanamate

**ANEXO N.º 2** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

<p><b>Nombre del Documento:</b> Evaluación Final del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros de la ex unidad minera "Caudalosa 1" de Activos Mineros S.A.C.</p> <p><b>Tipo de Documento Investigado:</b> Informe N' 078-2016-MEM·DGM/DTM/PAM</p> <p><b>Fecha y lugar de Publicación del documento:</b> Lima, 28 de febrero 2019</p> <p><b>Autor/Autores del documento:</b> Elaborado por la empresa Consultora Engineers &amp; Environmental Peru S.A., inscrita en el Registro de Entidades Autorizadas para Elaborar Planes de Cierre de Minas en el sector Energía y Minas.</p> <p><b>Documento dirigido para:</b> Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (en adelante DGAAM), la solicitud de aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros (PCPAM) de la ex unidad minera "Caudalosa 1"</p>	<p><b>Nombre de la Operación Minera:</b> Activos Mineros S.A.C. Ex U.M. Caudalosa 1</p> <p><b>Explotación subterránea</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Mina Polimetálica</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Contaminación por Relaveras</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table> <p><b>Rangos de contaminación por metales pesados</b></p>	si	no	si	no	si	no
si	no						
si	no						
si	no						



**ANEXO N.º 3** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

<p><b>Nombre del Documento:</b> Evaluación Final del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros de la "Ex unidad minera Azulmina 1 y 2" presentado por Activos Mineros S.A.C.</p> <p><b>Tipo de Documento Investigado:</b> Informe N° 112-2016-MEM·DGAAM/DEAM/DGAM</p> <p><b>Fecha y lugar de Publicación del documento:</b> Lima, 26 de febrero 2019</p> <p><b>Autor/Autores del documento:</b> Elaborado por la empresa consultora CESEL S.A., inscrita en el Registro de Entidades Autorizadas para Elaborar Planes de Cierre de Minas en el sector Energía y Minas.</p> <p><b>Documento dirigido para:</b> Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (en adelante DGAAM), la solicitud de aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros (PCPAM), Activos Mineros S.A.C. Ex U.M. Azulmina 1 Y 2.</p>			<p><b>Nombre de la Operación Minera:</b> Activos Mineros S.A.C. Ex U.M. Azulmina 1 Y 2</p>																												
			<p><b>Explotación subterránea</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>			si	no																								
			si	no																											
			<p><b>Mina Polimetálica</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>			si	no																								
			si	no																											
			<p><b>Contaminación por Relaveras</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>			si	no																								
si	no																														
<p><b>Rangos de contaminación por metales pesados</b></p> <table border="1"> <tr> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>			si	no																											
si	no																														
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características</th> <th>si</th> <th>no</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Duración</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contamina</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cuidado del ambiente</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Adaptabilidad</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reciclable</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistencia</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Eficacia</td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Características	si	no	Duración	X		Costo	X		Contamina	X		Cuidado del ambiente	X		Adaptabilidad	X		Reciclable	X		Resistencia	X		Eficacia	X	
Características	si	no																													
Duración	X																														
Costo	X																														
Contamina	X																														
Cuidado del ambiente	X																														
Adaptabilidad	X																														
Reciclable	X																														
Resistencia	X																														
Eficacia	X																														
<p><b>Tipo de Remediación</b></p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>si</td> <td>no</td> </tr> </table>			si	no																											
	si	no																													
Fitorremediación.																															
Encapsulamiento y revegetación.		X																													
Fitoextracción.																															
Fitoestabilización.																															

Rizofiltración.

Trata diversos contaminantes

X

Análisis documental de la operación minera en remediación, Activos Mineros S.A.C. Ex U.M. Azulmina 1 Y 2

**ANEXO N.º 4** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

**Nombre del Documento:**

“DETERMINACIÓN DE LA HIPERACUMULACIÓN DE METALES PESADOS Cd, Pb Y As EN LA PLANTA NATIVA TAYA (Baccharis tola Phil.) DE LA DESMONTERA MINERA RUMIALLANA ENTRE LOS DISTRITOS DE YANACANCHA Y SIMÓN BOLÍVAR, PASCO, 2019 - 2020”

**Tipo de Documento Investigado:**

Tesis pregrado, Para Optar El Título Profesional De Ingeniera Ambiental.

**Fecha y lugar de Publicación del documento:**

Huánuco, 2020

**Autor/Autores del documento:**

Solis Canta, Steffany Susan

**Documento dirigido para:**

Universidad De Huánuco, Facultad De Ingeniería, Programa Académico De Ingeniería Ambiental.

**Nombre de la Operación Minera:**

Cerro SAC. - Minera Rumiallana.

**Explotación subterránea**

si	no
----	----

**Mina Polimetálica**

si	no
----	----

**Contaminación por Relaveras**

si	no
----	----

**Rangos de contaminación por metales pesados**

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN MÁS EFICIENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON RELAVES DE MINAS SUBTERRÁNEAS POLIMETÁLICAS EN PASCO, 2020

			si	no	
			Características	si	no
			Duración	X	
			Costo	X	
			Contamina	X	
			Cuidado del ambiente	X	
Tipo de Remediación	si	no	Adaptabilidad	X	
Fitorremediación.			Reciclable	X	
Encapsulamiento y revegetación.			Resistencia	X	
Fitoextracción.			Eficacia	X	
Fitoestabilización.	X		Trata diversos contaminantes	X	
Rizofiltración.					

*Análisis documental de la operación minera en remediación, Cerro SAC. - Minera Rumiallana.*

**ANEXO N.º 5** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

**Nombre del Documento:**

“PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN AMBIENTAL, BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EMPRESAS MINERAS “

**Tipo de Documento Investigado:**

Tesis de Maestría, Maestría en Ingeniería – Mención: Minería y Medio Ambiente

**Fecha y lugar de Publicación del documento:**

Pasco, 2018

**Autor/Autores del documento:**

Ledesma Velita, Wenceslao Julio

**Documento dirigido para:**

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Escuela De Posgrado.

**Nombre de la Operación Minera:**

Centro Min Perú SA - Ocroyoc

**Explotación subterránea**

si	no
----	----

**Mina Polimetálica**

si	no
----	----

**Contaminación por Relaveras**

si	no
----	----

**Rangos de contaminación por metales pesados**

si	no
----	----

Características	si	no
Duración	X	
Costo	X	
Contamina	X	
Cuidado del ambiente	X	
Adaptabilidad	X	
Reciclable	X	
Resistencia	X	
Eficacia	X	
Trata diversos contaminantes	X	

Tipo de Remediación	si	no
Fitorremediación.		
Encapsulamiento y revegetación.	X	
Fitoextracción.		
Fitoestabilización.		
Rizofiltración.		

Análisis documental de la operación minera en remediación, Centro Min Perú SA - Ocroyoc

**ANEXO N.º 6** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

<p><b>Nombre del Documento:</b> “EVALUACION FISICA, QUIMICA Y BIOLOGICA DE LA LAGUNA PATARCOCHA – CERRO DE PASCO Y PROPUESTA DE RECUPERACION ECOLOGICA “</p> <p><b>Tipo de Documento Investigado:</b> Tesis Doctorado – Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias e Ingeniería.</p> <p><b>Fecha y lugar de Publicación del documento:</b> Trujillo, 2011</p> <p><b>Autor/Autores del documento:</b> Luis Rolando Murga Paulino.</p> <p><b>Documento dirigido para:</b> Universidad Nacional de Trujillo, escuela de Postgrado, Programa Doctoral en Ciencias e Ingeniería.</p>	<p><b>Nombre de la Operación Minera:</b> Centro Min Perú SA. - Patarcocha</p> <p><b>Explotación subterránea</b></p> <table border="1"><tr><td>si</td><td>no</td></tr></table> <p><b>Mina Polimetálica</b></p> <table border="1"><tr><td>si</td><td>no</td></tr></table> <p><b>Contaminación por Relaveras</b></p> <table border="1"><tr><td>si</td><td>no</td></tr></table> <p><b>Rangos de contaminación por metales pesados</b></p> <table border="1"><tr><td>si</td><td>no</td></tr></table>	si	no	si	no	si	no	si	no
si	no								
si	no								
si	no								
si	no								

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN MÁS EFICIENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON RELAVES DE MINAS SUBTERRÁNEAS POLIMETÁLICAS EN PASCO, 2020

			Características	si	no
			Duración	X	
			Costo	X	
			Contamina	X	
Tipo de Remediación	si	no	Cuidado del ambiente	X	
Fitorremediación.	X		Adaptabilidad	X	
Encapsulamiento y revegetación.			Reciclable	X	
Fitoextracción.			Resistencia	X	
Fitoestabilización.			Eficacia	X	
Rizofiltración.			Trata diversos contaminantes	X	

*Análisis documental de la operación minera en remediación, Centro Min Perú SA. - Patarcocha*

**ANEXO N.º 7** Instrumento de Recolección de Datos- Ficha de Análisis Documental

EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN MÁS EFICIENTES PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS CONTAMINADOS CON RELAVES DE MINAS SUBTERRÁNEAS POLIMETÁLICAS EN PASCO, 2020

**Nombre del Documento:**

“PLAN DE CIERRE UNIDAD MINERA ATACOCHA - PASCO, PERÚ “

**Tipo de Documento Investigado:**

Informe – Plan de Cierre

**Fecha y lugar de Publicación del documento:**

Lima, agosto 2006

**Autor/Autores del documento:**

Elaborado por la empresa consultora VECTOR PERU SAC., inscrita en el Registro de Entidades Autorizadas para Elaborar Planes de Cierre de Minas en el sector Energía y Minas.

**Documento dirigido para:**

Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (en adelante DGAAM), la solicitud de aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros (PCPAM),

**Nombre de la Operación Minera:**

Compañía Minera Atacocha S.A. - Atacocha, Malauchaca I Y II

**Explotación subterránea**

si	no
----	----

**Mina Polimetálica**

si	no
----	----

**Contaminación por Relaveras**

si	no
----	----

**Rangos de contaminación por metales pesados**

si	no
----	----

Características	si	no
Duración	X	
Costo	X	
Contamina	X	
Cuidado del ambiente	X	
Adaptabilidad	X	
Reciclable	X	
Resistencia	X	
Eficacia	X	
Trata diversos contaminantes	X	

Tipo de Remediación	si	no
Fitorremediación.		
Encapsulamiento y revegetación.	X	
Fitoextracción.		
Fitoestabilización.		
Rizofiltración.		

Análisis documental de la operación minera en remediación, Compañía Minera Atacocha S.A. - Atacocha, Malauchaca I Y II

**ANEXO N.º 8**

*Tabla 10*  
*Matriz De Consistencia Y Cronograma*

**TÍTULO:** Evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaveras de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020.

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
¿Cuáles la evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos	Por ser una investigación descriptiva cualitativa requiere hipótesis porque, solo se resaltarán las características y no	<b>GENERALES:</b> Evaluar los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020.	<b>VARIABLE</b> <b>DEPENDIENTE:</b> recuperación de suelos contaminados por relaveras.	El tipo de investigación que se empleará será una investigación No experimental, esta tesis de investigación de acuerdo al fin que persigue es con enfoque descriptivo.	<b>POBLACION</b> Esta tesis presenta como población objetivo la población muestral Relaveras de minas polimetálicas en etapa de cierre en la región de Pasco

<p>contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020?</p> <p>estamos manipulando ni aplicando ningún tipo de medición. Se buscará cuales son estas características que predominan sobre otras, en la elección del método de biorremediación, pero no significa que se aplique o implemente y con ello mejore algo.</p>	<p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Describir de los parámetros geológicos, de extracción, situación previa a la remediación y tipo de biorremediación de las operaciones de las minas subterráneas polimetálicas en Pasco.</li> <li>• Analizar las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos</li> </ul>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p>Evaluación de los métodos de biorremediación</p>	<p><b>MUESTRA</b></p> <p>Se ha determinado como muestra por un análisis no probabilístico a las relaveras de siete minas subterráneas polimetálicas en etapa de cierre que han aplicado la biorremediación en la región de Pasco.</p>
---	--	---	---

contaminados por relaves

en Pasco.

- Comparar y proponer las características de los métodos de biorremediación más usados para la recuperación de suelos contaminados por relaves en Pasco.
- Proponer el método con mayor viabilidad utilizado para la recuperación de suelos contaminados por relaves de minas

subterráneas polimetálicas

en el Perú 2020.

**ANEXO N.º 9**

*Tabla 11  
Matriz De Operacionalización De Variables*

**TÍTULO:** Evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaveras de minas subterráneas polimetálicas en Pasco 2020..

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE DIMENSIONES
DEPENDIENTE	(Martínez, 2018) Señala que la recuperación de suelos contaminados por relaveras, es el uso de técnicas y tecnología para la limpieza de metales pesados producto de la actividad minera,	Limpieza y remoción de químicos, reactivos y metales pesados en suelos utilizados por relaveras, devolviéndola a su estado original.	Métodos de recuperación	Tipo de métodos	Nominal
	Recuperación de suelos contaminados por relaveras		Suelo	Tipo de Parámetros de contaminación	Razón
			Calidad de planta compatible		Ordinal
			Tipo de contaminante		razón

Orgánico o  
inorgánico

VARIABLE	La	Métodos	y	Evaluacion	Costos	Nominal
INDEPENDIENTE	biorremediación	técnicas utilizadas para		de las características		
Evaluación	está cobrando	llegar a una mejor y			Alcance	razón
de los métodos de	mucha	eficiente biorremediación.				
de	importancia,					
de	debido a sus bajos				Duración	razón
de	costo, es buena con					
de	el ambiente, no usa				No	razón
de	químicos ni				contamina	
de	reactivos					
de	peligrosos, no					
					Reciclable	

afecta la estructura  
del suelo,  
estéticamente  
agradable, ya que  
produce una  
cobertura verde.  
(Paiva, 2015)

razón

Resistencia  
de concentración del  
contaminante

Razón

Cuidado del  
ambiente

Probabilidad  
de aceptación

Razón

Nominal

---

Trata	
diversos	Razón
contaminantes	
Eficacia	razón

---

*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO N.º 10

### MINA QUIULACOCHA - PASCO

*Figura 2.*

*Vista parcial del espejo de aguas ácidas del depósito de relaves – Quiulacocha lado sur*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.*

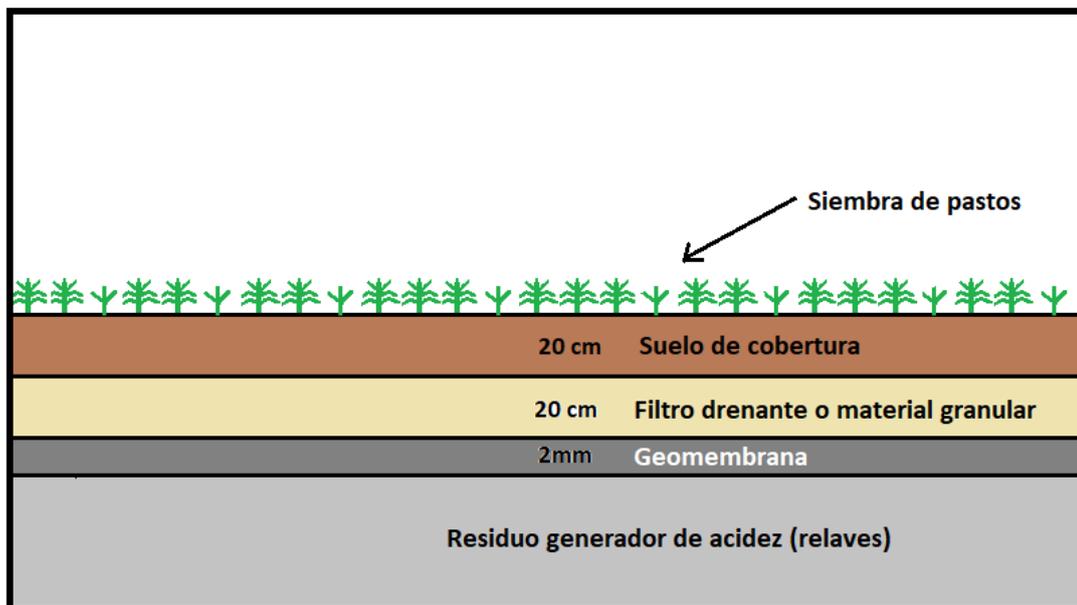
*Vista panorámica del depósito de relaves de Quiulacocha vista de este a oeste*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 4.*

*Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación*



*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO N.º 11

### MINERA RUMIALLANA – PASCO

*Figura 5.*

*Tres muestras de la planta nativa Taya (Baccharis tola Phil.) y su correspondiente suelo rizósferico de cada muestra.*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 6.*

*Reconocimiento de la planta que cumple con los criterios*



*Fuente: Elaboración propia*