UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL *Helianthus annuus* EN SUELOS CONTAMINADOS POR LAS ACTIVIDADES MINERAS EN EL SUR DEL ECUADOR

EXAMEN COMPLEXIVO

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA
RODRIGUEZ ZAMORA KARINA ADELAIDA

TUTOR
ING. DIEGO ARCOS JÁCOME MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, ING. DIEGO ARCOS JÁCOME, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ": **"ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL Helianthus annuus EN SUELOS CONTAMINADOS POR LAS ACTIVIDADES MINERAS EN EL SUR DEL ECUADOR"**, realizado por la estudiante RODRÍGUEZ ZAMORA KARINA ADELAIDA; con cédula de identidad N°1312589524 de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor

Guayaquil, 25 de Octubre del 2021

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL Helianthus annuus EN SUELOS CONTAMINADOS POR LAS ACTIVIDADES MINERAS EN EL SUR DEL ECUADOR** ", realizado por la estudiante RODRÍGUEZ ZAMORA KARINA ADELAIDA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Dr. Freddy Arcos Ramos
PRESIDENTE

Ing. Karla Crespo León
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Jaime García Ochoa
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 20 de Octubre del 2021

Dedicatoria

Deseo dedicar este trabajo a mi familia y a los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador que ayudaron en la revisión y formulación de la Tesina, esperando que el esmero dirigido en este trabajo sea conveniente a una excelente calificación y a un futuro lleno de oportunidades a nivel profesional.

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por llenarme de vida, salud e inteligencia. Agradezco a mis padres por haberme dado la vida. Agradezco mi tutor por su dedicación en la supervisión de la presente Tesina. Y por último, pero no menos importante, agradezco a todos mis compañeros de la carrera que me acompañaron durante toda mi jornada de vida estudiantil.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo KARINA ADELAIDA RODRIGUEZ ZAMORA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL *Helianthus annuus* EN SUELOS CONTAMINADOS POR LAS ACTIVIDADES MINERAS EN EL SUR DEL ECUADOR.” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 25 de Octubre del 2021

RODRIGUEZ ZAMORA KARINA ADELAIDA
C.I. 1312589524

Índice general

PORTADA **1**

APROBACIÓN DEL TUTOR **2**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN **3**

Dedicatoria **4**

Agradecimiento **5**

Autorización de Autoría Intelectual **6**

Índice general **7**

Índice de tablas **10**

Índice de figuras **11**

Resumen **12**

Abstract **13**

1. Introducción **14**

1.1 Importancia o caracterización del tema **14**

1.2 Actualidad del tema **16**

1.3 Novedad científica del tema **16**

1.4 Justificación de la investigación **18**

1.4 Objetivo general **19**

1.5 Objetivos específicos **19**

2. Metodología **20**

2.1 Materiales **20**

2.1.1 Recursos Bibliográficos 20

2.1.2 Materiales y equipos 20

2.1.3 Recursos humanos 20

2.2 Métodos 21

2.2.2 Modalidad y tipo de investigación 21

2.1.2 Tipos de métodos 21

2.1.2 Técnicas 22

3. Marco teórico 23

3.1 Estado del Arte 23

3.2 Bases Teóricas 26

3.3 Marco Legal 37

3.3.1 Constitución de la República del Ecuador 37

3.3.2 Ley Minera 38

3.3.3 Código Orgánico Ambiental 40

4. Desarrollo del contenido. 41

4.1 Características del Helianthus annuus sobre la capacidad fitorremediadora en suelos contaminados por cianuro, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo. 41

4.2 Contaminación generada por metales pesados a causa de las actividades mineras en la zona sur del Ecuador (El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe). 43

4.3 Eficiencia del Helianthus annuus en remediación de suelos contaminados por metales pesados mediante la recopilación de estudios previos sobre el tema de interés 44

5. Conclusiones..... 47

6. Recomendaciones 49

7. Bibliografía 50

8. Glosario..... 60

9. Anexos 62

Índice de tablas

Tabla 1. Papers revisados en toda la Monografía para el análisis. 46

Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de eficiencia de remoción de metales pesados de Helianthus annuus según varios autores 46

Figura 2. Diagrama de la investigación propuesta. 62

Figura 3. Planta de Helianthus annuus. 62

Resumen

El trabajo investigativo se enfocó en la actividad reparadora y regeneradora de la planta *Helianthus annuus* más comúnmente conocida como el girasol para la remoción de la contaminación generada en los suelos debido a la alta influencia de las actividades generadas por las industrias mineras de las zonas costeras, interandinas y amazónicas del sur del Ecuador, es así que se buscará cumplir con el objetivo establecido que se determina con la finalidad de plantear la implementación de la planta *Helianthus annuus* para la fitorremediación de suelos contaminados por las actividades mineras en el sur del Ecuador para su uso justificado en los procesos de regeneración del suelo; para el cumplimiento de este objetivo se establece un método comparativo y una técnica explicativa que incluyen una búsqueda exhaustiva de datos, su selección, clasificación y análisis pertinente que justificará su uso económico y ecoamigable con el ambiente; la investigación se realizó con ayuda de las fuentes bibliográficas más confiables identificadas por la entidad académica que incluyen revistas científicas, papers y bibliotecas virtuales, al finalizar la investigación se generó un análisis que confirma el uso acertado del girasol por sobre otras herramientas (plantas y métodos) de extracción de metales pesados del suelo, tendiendo a que la fitorremediación con esta planta es bastante eficaz en las actividades contaminantes de origen minero.

Palabras clave: Contaminación, Fitoremediación, Girasol, Minería.

Abstract

The research work focused on the repairing and regenerating activity of the *Helianthus Annuus* plant, more commonly known as the sunflower, for the removal of the contamination generated in the soils due to the high influence of the activities generated by the mining industries in the coastal, inter Andean and Amazonian areas in the south of Ecuador, so it will seek to meet the established objective to be determined in order to propose the implementation of the *Helianthus Annuus* plant for the phytoremediation of soils contaminated by mining activities in the south of Ecuador for its justified use in soil regeneration processes; for the fulfillment of this objective, a comparative method and an explanatory technique is established that includes an exhaustive search of the data, its selection, classification and the pertinent analysis that justifies its economic and ecological use with the environment; the research was be carried out with the help of the most reliable bibliographic sources identified by the academic entity, which include scientific journals, articles and virtual libraries, at the end of the investigation, an analysis was generated that confirms the successful use of sunflower over other tools (plants and methods) for the extraction of heavy metals from the soil, tending that phytoremediation with this plant is quite effective in the polluting activities of mining origin.

Keywords: Pollution, Phytoremediation, Sunflower, Mining.

1. Introducción

Por miles de años el suelo ha sido expuesto a diferentes tipos de contaminantes, el mismo es un recurso esencial del medio ambiente y de suma importancia para la vida, ha sido este vulnerable a muchos cambios por lo que toma demasiado tiempo recuperarlo, así que es considerado un recurso natural no renovable (Chinchay y Kenyi, 2020).

Becerril (2007), afirma que una de las consecuencias más negativas de la revolución industrial ha sido la dispersión de los contaminantes en el agua, atmósfera y suelo. De éstos, el suelo es el medio más estático donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en los casos contaminantes inorgánicos como los metales pesados, los cuales no pueden ser degradados de manera rápida.

Los suelos tras su explotación por esta actividad degradante quedan con todo tipo de materiales residuales, esto conlleva a grandes problemas para el desarrollo de la vegetación, tales como: una textura desequilibrada, ausencia de su estructura edáfica, propiedades químicas anormales, disminución en el contenido de nutrientes, así como una retención de agua muy baja (Chinchay y Kenyi, 2020). En este trabajo de investigación y análisis hablaremos de varios de los contaminantes más importantes generados a causa de las actividades mineras.

1.1 Importancia o caracterización del tema

Ferrua (2021), afirma que cuando pensamos en contaminación, a menudo pensamos en términos del aire o el agua, sin embargo, hay un factor importante que muchas veces se pasa por alto como lo es la contaminación del suelo. Ésta se identifica como la tercera amenaza más importante a las funciones del suelo en Europa y Eurasia, cuarta en África del Norte, quinta en Asia, séptima en Pacífico

del Noroeste, octava en Norteamérica y novena en el África Sub-Saharina y Latinoamérica.

Las actividades de la minería en pequeña escala han tenido graves implicaciones medioambientales, desplazando comunidades, apropiándose de territorios extensos, de las aguas y de la biodiversidad, desequilibrando la seguridad y soberanía alimentaria de las poblaciones afectadas. Estas actividades son las que aportan al ambiente una carga adicional de elementos persistentes y con alto potencial tóxico; a gran escala produce un impacto directo en el suelo, flora, fauna y el agua (Coello y Burgos, 2012).

Una de las principales fuentes de la contaminación del suelo es la minería y una de las principales sustancias contaminantes es el plomo, este cual se produce principalmente por la deposición de metales emitidos durante el proceso de descomposición de la amalgama y fundición de oro. Estos metales se consideran no biodegradables y pueden ser acumulados en los sistemas económicos de suma importancia como lo es la agricultura alcanzando niveles que rebasan los límites máximos permisibles provocando afección a la fertilidad y por lo tanto disminuyendo el rendimiento del suelo (Ferrua, 2021).

La minería de oro ha causado considerables impactos ambientales principalmente en el sur del Ecuador, siendo más afectadas las áreas de Portovelo, Zaruma y Ponce Enríquez. Los principales contaminantes son el cianuro, los metales pesados y el mercurio. Esto aumenta de manera desesperada la demanda por buscar formas ecoamigables de conservar limpias las áreas naturales de aquellas que han sido contaminadas por las acciones del hombre, en este caso por las actividades mineras (Coello y Burgos, 2012).

1.2 Actualidad del tema

El aumento en los últimos años de la contaminación del suelo a causa de las actividades mineras en el sur del Ecuador, ha causado graves problemas en el sector agrícola y acuícola, poniendo en riesgo su productividad y generando así bajos ingresos económicos para las familias que viven de estas actividades, convirtiéndose en unos de los mayores problemas del país.

Los mineros de la zonas de Portovelo, Zaruma y Zamora hacen uso del mercurio para formar una amalgama, aquí mismo se encuentras las principales plantas de procesamiento o de beneficio de este metal. Los procesos para la extracción de oro generan muchos residuos tóxicos que requieren tecnologías parar tratarlos antes de ser emitidos al medio ambiente, sin embargo, estos métodos conllevan una alta cantidad de energía y reactivos químicos que generan otros desechos igualmente tóxicos. Incluso pueden llegar a ser ineficientes en la remoción de dichos contaminantes, debido a las altas concentraciones en las se pueden presentar dichos contaminantes (Vela y Guamán, 2019).

Teniendo esto en cuenta, los procesos para la remediación del suelo son cada vez más complejos, dado a que las altas concentraciones de contaminantes dificultan la actividad de ciertos procesos físicos o químicos que se desee dar al suelo afectado, es aquí donde surge la idea de la fitorremediación, que aunque es un proceso de actividad pasiva y toma un tiempo de aplicación considerable, es la mejor opción de manera económica y ecoamigable con el ambiente, ya que hace uso del componente biológico y no químico.

1.3 Novedad científica del tema

En el país hay un debate sobre la minería, en el cual quienes se pronuncian a favor de la minería aceptan los costos medioambientales, mientras que quienes

están en contra defienden el medioambiente y no toleran su afectación. Se ha planteado la posibilidad de una minería sostenible que en su desarrollo considera los aspectos económico, social y ambiental, con actitud democrática que implica la participación de los afectados por el proceso minero (Vásconez y Torres, 2018).

Al realizar las actividades de extracción de minerales y materias primas provoca alteraciones en los recursos naturales, siendo el suelo uno de los más importantes. Debido a esto se ha tenido la necesidad de buscar formas y recursos naturales para la remediación del mismo; estudios realizados afirman que las plantas poseen características que permiten su uso eficiente en el proceso de fitorremediación en los suelos contaminados por metales pesados, disminuyendo así la dispersión de los metales pesados.

Por parte del plomo, Chico (2012) en investigación menciona que el “girasol” es muy utilizado por su capacidad de acumular metales y responder con una alta biomasa radicular (raíz). Con los resultados de su investigación demostró la capacidad remediadora de las raíces de Helianthus annuus de las cuales se usaron las plántulas y se trasplantaron a macetas de 1.5 kg de capacidad y cada una contenía 50% de arena gruesa y 50% de arena fina en esa proporción.

En el Ecuador, tanto las mineras legales como artesanales (sin permisos, de origen ilegal) generan una enorme contaminación y con ello preocupación a las poblaciones cercanas, es el caso de la provincia del Azuay donde Gallardo (2019) en su trabajo sobre la fitorremediación con *Helianthus annuus* propuso un método para la recuperación y regeneración de los suelos afectados.

El presente trabajo de investigación se realizará en base a la constante necesidad que tiene la industria minera de remediar los suelos contaminados, dado

a que la contaminación se concentra no solo en el suelo, sino que llega también a las reservas de agua cercanas a las áreas donde ocurre esta actividad.

1.4 Justificación de la investigación

En Ecuador, la zona minera se establece principalmente al sur del país, la provincia más conocida por su actividad minera es El Oro, siendo esta su principal fuente de ingresos. Estas actividades provocan alteraciones en los recursos naturales, siendo el suelo uno de los más afectados, el suelo es un recurso importante para la economía de sectores aledaños a las zonas mineras por su uso en la agricultura. El suelo que se pretender biorremediar, contiene niveles bastante tóxicos de metales pesados, por tal motivo se intenta aplicar un proceso de selección, clasificación y análisis para abrir las puertas a un mecanismo económico y sencillo. Este debe tener el potencial necesario para establecerse como un método válido que se pueda desarrollar y perfeccionar en nuestro país de manera eficiente. Varios estudios han demostrado que la fitorremediación es una gran propuesta de solución para la limpieza de sitios contaminados por la variedad de metales pesados que existen después del proceso de minería (Gallardo, 2019).

El presente trabajo de investigación y análisis se realizará con la finalidad de evidenciar la eficiencia, características y capacidad fitorremediadora de las plantas como la Helianthus annuus, para el tratamiento del suelo contaminado por metales pesados, a causa de la minería. Aunque existen tecnologías para la eliminación de los residuos tóxicos, estos necesitan alta cantidad de energía y químicos que terminan generando desechos igualmente tóxicos, por esta razón es que se hace la propuesta de utilizar recursos naturales, como son las plantas que contengan la capacidad fitorremediadora y así disminuir costos además de que es una forma amigable con el medio ambiente.

1.4 Objetivo general

Analizar la capacidad fitorremediadora *Helianthus annuus* en los suelos contaminados por actividades mineras en la zona sur del Ecuador (El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe).

1.5 Objetivos específicos

- Indagar las características del *Helianthus annuus* sobre la capacidad fitorremediadora en suelos contaminados por cianuro, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo.
- Describir la contaminación generada por metales pesados a causa de las actividades mineras en la zona sur del Ecuador (El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe).
- Comparar la eficiencia del *Helianthus annuus* en remediación de suelos contaminados por metales pesados mediante la recopilación de estudios previos sobre el tema de interés.

2. Metodología

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos Bibliográficos

Para la realización del presente trabajo de investigación se indagará en las siguientes fuentes bibliográficas establecidas por los mecanismos académicos a nivel mundial, se menciona:

- Springer.
- Google Académico.
- Scielo.
- Europeana.
- Otras fuentes bibliográficas.

2.1.2 Materiales y equipos

Se harán uso de los siguientes materiales y equipos para justificar la investigación del proyecto fitorremediador.

2.1.2.1 Materiales

- Libreta.
- Bolígrafos.
- Lápices.
- Papel.

2.1.2.2 Equipos

- Computadora.
- Impresora.

2.1.3 Recursos humanos

Se hará uso del tiempo y disposición del estudiante para la investigación en todas sus etapas, el costo aproximado de la ejecución de la misma está establecida en $200 por concepto del pago de internet y de los insumos necesarios.

2.2 Métodos

2.2.2 Modalidad y tipo de investigación

Se usó un procedimiento investigativo de origen documental y bibliográfico que consta de una parte sistemática de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema, se conduce a la construcción de conocimientos. Particularmente se usa como una fuente primaria de insumos de investigación, más no la única, el documento escrito en sus diferentes formas: documentos impresos, electrónicos y audiovisuales (Rizo, 2015).

Tomando en cuenta que el trabajo es investigativo y analítico se acopla perfectamente a modalidad cuya demanda exige que estos sean en su mayoría de búsquedas de información, entre los insumos citados se menciona:

- Fichas bibliográficas
- Documentos escritos
- Registro de páginas electrónicas
- Bibliotecas virtuales
- Artículos científicos

2.1.2 Tipos de métodos

2.2.2.1 Método comparativo

Para la realización de esta monografía se llevó a cabo el método de tipo comparativo que consiste en la recopilación de trabajos investigativos y su respectivo contraste en los análisis con la finalidad de que se aplique con fines de generalización empírica” (Nohlen, 2004). Es así que en este método se

considerarán diversas variables para ejecutar la clasificación, selección, análisis y evaluación de los procesos de fitorremediación de la planta *Helianthus annuus*; se tomará en cuenta la cantidad de contaminantes que se encuentran disgregados en los suelos contaminados de la industria minera, el área donde se desarrolla los procesos de fitorremediación y la cantidad encontrada de los contaminantes en las diversas estructuras de la planta.

2.1.2 Técnicas

Entre las múltiples técnicas se seleccionó la técnica analítica explicativa que se encarga de la búsqueda de datos, que incluye su recolección y selección para luego realizar una clasificación donde se agregaran gráficos explicativos según sea el caso de estudio, estos ayudarán a dinamizar la posterior comparación y determinación de escenarios de fitorremediación óptimos en base a la economía y el ámbito ecoamigable para el funcionamiento de la planta *Helianthus annuus* como remediador de contaminantes del suelo contaminado por las actividades mineras. Es así en base a las actividades que se realizaran se prevé cumplir con los objetivos generados, los cuales se encargan de análisis (cálculo, descripción y determinación de diversos aspectos de los suelos contaminados); esta técnica servirá para definir el por qué las principales características de las plantas de estudio hacen que se consideren como plantas fitorremediadoras.

Se establece así en el Anexo 1 un diagrama para la visualización de los pasos a seguir en la investigación propuesta.

3. Marco teórico

3.1 Estado del Arte

En este apartado se mencionarán los trabajos que hacen contraste con la investigación realizada:

Peña (2019) evaluó la capacidad de absorción del Helianthus Annuus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo afirmando que el girasol es una planta que puede germinar con altas concentraciones de plomo en comparación a otras especies, siendo la parte radicular la que acumula la mayor cantidad de este contaminante en todos los tratamientos realizados, esto debido a la poca movilidad del metal a través de la planta. Dado a que el girasol es una planta bastante resistente a los cambios presentes en el suelo, se la puede usar para tratar de reducir la contaminación de distintos tipos (mineros, agrícolas y de hidrocarburos).

Liñan (2019) determinó la fenología del girasol (Helianthus annuus) cultivado en suelos contaminados por metales pesados de la ex minera Santa Rosa de Cata-Coayllo-Cañete. Realizó una serie de experimentos donde el efecto de los metales pesados en la morfología del cultivo de girasol cultivado en suelos contaminados a diferentes concentraciones con metales pesados y con un 5% de materia orgánica presentó pigmentación amarillenta en algunas partes del ápice de las hojas, sin embargo no se pudo visualizar en algunas hojas los nervios ni una diferenciación de tamaño en hojas por lo que logra tener mejores características morfológicas y también un mejor desarrollo en comparación a los tratamientos que se encuentra sin materia orgánica, esto se debe a la acción de la materia orgánica y a la mejor biodisponibilidad de los metales ya que el girasol es una planta fitorremediadora que debido a ello pudo reducir la concentración de algunos metales que se encontraban en mayor concentración en el suelo. Teniendo estos experimentos en

cuenta, la planta es parte importante del proceso fitorremediador del suelo contaminado por la minería, es justificado su uso, no afecta de gran manera la fenología de la planta.

Caballero (2018) analiza el efecto de los microorganismos eficientes en la actividad fitoextractora de Helianthus annuus L. en suelos contaminados con metales pesados por minería en Samne, utilizando un método de procesamiento de análisis estadísticas completamente aleatorizado que se realizó en base al análisis de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Anderson-Darling y Levene, respectivamente; posteriormente al cumplirse estos supuestos se realizó las pruebas paramétricas de análisis de varianza (ANVA), y a continuación, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Existe un efecto positivo en los tratamientos de microorganismos eficientes y Helianthus annuus l. ya que si poseen la capacidad de fitoextraer metales pesados tales como: Pb (44.95%), seguido de Fe (30.94%), Cu (29.91%), Cr (28%), Hg (26%), Mn (23%), Cd (15.95%) con la aplicación de la dosis de microorganismos eficientes al 10%. En menor cuantía los microorganismos eficientes removieron Zn, con la concentración de 10% fue de 12.40%. Todas estas pruebas estadísticas realizadas en el trabajo de investigación son prueba irrefutable de que el girasol puede ser utilizado para la extracción de los metales pesados del suelo, y por ende puede ser aplicado efectivamente a los suelos contaminados por actividades mineras.

Juárez (2016) evaluó el desarrollo de Helianthus annuus L. y su capacidad de extracción de metales pesados en residuos de mina; bajo la influencia de nutrientes y composta, para el posterior uso como planta fitorremediadora. Se la caracterizó

física y químicamente y obtuvo el contenido de metales pesados. Se utilizó al jal como sustrato y agregó dosis altas y bajas de composta, nitrógeno y fosforo. Los resultados indicaron que ninguno de los metales pesados rebasó los límites permisibles y que el manganeso fue el que se encontró en mayor concentración en el jal de mina. En invernadero, la planta no se desarrolló adecuadamente por efecto de los residuos de mina. En planta la mayor acumulación de plomo, zinc y cadmio se presentó en el tallo y el cobre, níquel y manganeso, se concentraron en mayor cantidad en las raíces. No se observó ningún efecto positivo para el desarrollo de la planta con la incorporación de composta y nutrimentos. Este estudio menciona que el girasol no tuvo mayor diferenciación de desarrollo en su estructura con o sin influencia de nutrientes y compost, es decir que no necesita de enormes cantidades de cuidados y tratamientos para ser un potente fitorremediador del suelo.

En Ecuador, el desarrollo de la investigación de remediación de suelos es innegable dado a que Panchi (2015) en su trabajo investigó el potencial de tolerancia que existe en las semillas de girasol con respecto a otras semillas de especies vegetales diferentes ante la presencia de este tipo de metal pesado sumamente peligroso al ambiente, sus resultados fueron favorables para las semillas de girasol dado a que realizó una extracción considerablemente alta ante sus pares de ensayo.

Espín (2012) en su trabajo realizado en la provincia del Azuay evaluó el crecimiento de H. annuus L. (girasol), especie bioacumuladora de metales pesados, mediante la adición de acondicionadores orgánicos e inorgánicos al relave minero a fin de lograr la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio. Este procedimiento obtuvo resultados favorables debido a que existió una remoción considerable de los metales pesados en el suelo tratado.

Finalmente, Gallardo (2019) propuso la fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador, afirmó que en el país la zona minera se establece principalmente en el sur donde esta actividad son la fuente principal de ingresos. Debido a este tipo de labores, surgen las propuestas fundamentadas como aportes científicos e iniciativas para poder frenar los impactos negativos que son generados (o se podrían generar) en las zonas de influencia.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Minería

Español (2012) define a la minería como una de las actividades económicas más antiguas de la humanidad. No es por nada que se clasifican las épocas prehistóricas según los minerales utilizados: edad de piedra, edad de bronce, edad de hierro. La actividad minera a nivel mundial se desarrolla con diferentes dimensiones; estas son fundamentalmente tres: gran minería, mediana minería y pequeña minería o minería artesanal. Esta última aparece, especialmente, en los países en desarrollo. Se calcula que en la minería del oro artesanal y en pequeña escala participan entre 10 y 15 millones de mineros, de los cuales 4,5 millones son mujeres y 1 millón son niños.

Corpus (2018) en su informe habla sobre cómo el proceso de minería implica la extracción de las minas, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado puede ser depositado en los suelos a muchos kilómetros de distancia. En áreas mineras, las capas superiores presentan concentraciones elevadas de cobre, níquel, arsénico, selenio, hierro y cadmio. El enriquecimiento de minerales consiste en su separación

de la ganga terrosa que los acompaña. Los procesos para su recuperación se dividen en pirometalurgia (proceso en seco y a través de calor) e hidrometalurgia (proceso húmedo).

3.2.2 Suelo

Rucks (2004) afirma que el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, considerada la parte biológicamente activa. Sus propiedades físicas determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

Vilcapaza (2018) en su trabajo de investigación de la evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo dice que el suelo es un medio dinámico y un recurso natural más aún está compuesto por los componentes minerales, también participan el agua y aire, dicho recurso desempeña diversas funciones en la superficie de la tierra, facilitando la interacción de actividades bioquímicas y físicas, así como nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas y microorganismos. Dejando a los minerales como los principales elementos del suelo ya que contribuyen más del 50% del volumen total de dicho recurso.

Por otro lado, Bautista (2004) afirma que el suelo es imprescindible para a vida además de que no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Por lo tanto, los

científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad de la tierra. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud de la tierra y de manejo sostenible de la misma, tal como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas. En este trabajo se realizará una revisión de los principales conceptos relacionados con la calidad del suelo y sus indicadores. El adecuado manejo de los conceptos sobre estos temas debe redundar en un mejor manejo de la sostenibilidad del recurso, de la agricultura sostenible y en la toma de decisiones de políticas de uso del suelo. El desarrollo de indicadores de calidad del suelo debería basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se esté evaluando. Deben considerarse propiedades edáficas que cambien en un periodo de tiempo relativamente corto.

3.2.3 Metales pesados

Cañizares (2000) define a los metales pesados como un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm^3. El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas. Debido a su movilidad en los ecosistemas acuáticos naturales y a su toxicidad para las formas superiores de vida, los iones de metales pesados presentes en los abastecimientos de aguas superficiales y subterráneos, se les ha dado prioridad como los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente.

Prieto (2009) determinó altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos. La presente compilación bibliográfica resalta y destaca la sensibilidad relativa de algunas plantas a la presencia de los metales pesados y la tendencia a acumular los mismos, haciendo énfasis en los aspectos de relación con algunas de las características fisicoquímica de los suelos y la fitotoxicidad por metales.

El metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas, Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Prieto y González, 2009).

3.2.4 Contaminación ambiental

Delgadillo (2011) afirma que la contaminación ambiental se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede

producir de forma natural y los clasifican en dos tipos: contaminantes orgánicos y contaminantes inorgánicos.

Mientras que Reyes (2016) menciona que la contaminación ambiental como tal es uno de los problemas más importantes que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente. La tasa de contaminación del agua puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios. Se hace evidente una crisis de este recurso para los próximos años, lo que podría comprometer el cumplimiento de uno de los objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de Naciones Unidas.

Vargas (2005) aporta que la respuesta a los agentes ambientales varía en la población, hay personas más susceptibles y vulnerables que otras. Esto es evidente en el caso de las alergias, pero también en otras enfermedades como el cáncer. Una suma de varios factores simultáneos puede tener efectos muy negativos sobre la salud. Un ambiente social desfavorable, una dieta inadecuada, la exposición a riesgos laborales, la adopción de hábitos no saludables (tabaco, alcohol, falta, de actividad física, etc.) y estar expuesto a varios contaminantes peligrosos puede incrementar el riesgo de enfermar por encima de lo esperado si uno estuviera expuesto a la acción separada de cada uno de estos factores.

3.2.5 Contaminación del suelo

García (2000) en su artículo expone que, en condiciones naturales, la concentración de determinados elementos en el suelo es relativamente baja, pero determinadas actuaciones antrópicas como fertilización excesiva, aplicación de lodos residuales, emisiones atmosféricas o accidentes mineros, pueden elevarla por encima de los niveles tóxicos. En este caso, el suelo realiza una serie de

procesos de filtración, neutralización, adsorción y precipitación, entre otros, que actúan como inactivadores de la toxicidad potencial de estos elementos, impidiendo que pasen a sistemas más sensibles como el agua o el aire.

Pérez y Martín (2015) afirman que los procesos mineros utilizados para la obtención de minerales con valor comercial, generan residuos que constituyen una de las principales causas de la contaminación de los suelos con elementos potencialmente tóxicos (EPT). Las actividades mineras se caracterizan por la generación de grandes cantidades de residuos que contienen EPT que se pueden dispersar al entorno con la subsecuente afectación de los suelos y sedimentos donde se acumulan por tiempo indefinido, lo que puede representar un riesgo a la salud humana y al ambiente en general. En las zonas mineras donde el clima predominante es árido o semiárido, el proceso de contaminación de los suelos se da principalmente por la dispersión eólica de los residuos hacia el entorno; mientras que en climas húmedos se da por dispersión hídrica. En ambos casos, ha sido documentado que la dispersión de los residuos mineros afecta grandes extensiones de terreno.

3.2.6 Fitorremediación, procesos que intervienen.

Yacolca (2017) afirma que la fitorremediación es la utilización plantas que tienen la capacidad de absorber y concentran en sus partes aéreas (hojas, tallos) los contaminantes presentes en el suelo como metales pesados e hidrocarburos. También ciertos contaminantes se acumulan en las raíces por lo que la profundidad de estas es un factor determinante para extraer una cantidad considerable de contaminante. Las plantas más pequeñas tiene una desventaja a comparación con los árboles ya que sus raíces no penetran a más profundidad en suelo, en el caso de los árboles su raíces llegan a gran profundidad, por ende son utilizadas para que

extraigan o sorban los metales o sustancias contaminantes del suelos profundo, a las plantas más pequeñas se deja crecer y luego estas son cortadas y destruidas.

El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas suelos, e incluso aire. De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Nuñez, 2004).

Mientras que Delgadillo (2011) menciona que la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. Se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas donde se utilizan plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes.

Se involucran procesos físicos y biológicos, los cuales son el control hidráulico que consiste en usar plantas para una rápida absorción de grandes volúmenes de agua que deben ser contenidos. Los procesos son: Fitodegradación, el cual es la

degradación de los contaminantes en los procesos metabólicos cuando son absorbidos por las raíces a través de compuestos producidos por las plantas llamadas enzimas. Fitoextracción, es la remoción del contaminante a través de raíces y su translocación en la parte aérea. Fitoestabilización, es la movilización de un contaminante por adsorción a las raíces o precipitación en la rizosfera. Fitovolatilización, es la absorción y transpiración de un contaminante. Rizodegradación, es la degradación del contaminante a través de la actividad microbiana en la rizosfera. Rizofiltración, es la adsorción o precipitación en las raíces o la absorción por las raíces de contaminantes que están en solución en la rizosfera (Rodrigo, 2018).

3.2.7 Helianthus annuus como fitorremediador

Gutiérrez (2011) afirma que la fitorremediación es una práctica que se vuelve día a día cada vez más importante para reducir los contaminantes del suelo y agua. Las plantas nativas tienen potencial para ser usadas en las prácticas de fitorremediación y dentro de éstas está el girasol (Helianthus annuus). Sin embargo, la mayoría de los estudios de esta especie se han centrado en plantas adultas y no en semillas. El girasol (Helianthus annuus) es una planta ampliamente reconocida como fitorremediadora y en la cual se han desarrollado diversos estudios de germinación reportaron que el girasol por su alta capacidad radicular puede extraer del 10 al 25% de los metales del suelo, ya que estas plantas no son fácilmente afectadas por los contaminantes. Los niveles de crecimiento de esta especie en medios contaminados fueron superiores a los niveles de crecimiento de plantas que crecen bajo condiciones no contaminadas. Esta especie absorbe metales pesados en grandes cantidades por lo que se considera una planta hiperacumuladora para Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Ver Anexo 2).

Por su parte León (2017) determinó la capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales, existen diferentes aproximaciones para poder mitigar el daño producido por la actividad minera, como el uso de tecnologías de biorremediación. Una de estas aproximaciones es la fitorremediación, la cual usa las plantas y microorganismos asociados a ellos, para remover o inactivar los contaminantes tóxicos. Para su uso de debe estudiar la fisiología, morfología, condiciones de propagación y el tipo de propagación de las plantas. Estas plantas pueden adoptar distintos mecanismos de concentración de metales pesados, pueden ser tanto mecanismos negativos que producen daño y posteriormente la muerte de la planta, o pueden ser mecanismos adaptativos de resistencia al metal. Estas últimas se denominan metalófitas y se dividen en tres categorías: exclusores metálicos, indicadores metálicos e hiperacumuladores metálicos. Es así el caso del girasol que es parte de las especies mencionadas en su trabajo, donde se destaca su capacidad remediadora y extractora de los metales pesados del suelo.

Peña (2019) por otra parte en su investigación afirma que el girasol puede germinar con altas concentraciones de Pb comparada con otras especies, siendo la raíz el órgano del girasol donde se acumuló la mayor cantidad de plomo en todos los tratamientos debido a la poca movilidad del metal a través de la planta. También indicó que la absorción y acumulación de plomo no dejó ningún efecto importante sobre el crecimiento general del girasol y que la fácil disponibilidad y alta producción en masa de girasol crea una gran posibilidad de eliminación de plomo como agente de fitorremediación. Las concentraciones de estos metales se incrementaron significativamente conforme la edad de la planta, el Helianthus annuus puede desarrollarse con normalidad en altas concentraciones de plomo. La autora

comprobó la efectividad de la capacidad de absorción del Helianthus annuus hasta en un 56%, por eso corrobora que es un eficaz fitorremediador de suelos contaminados con plomo.

Rodrigo (2018) afirma en su trabajo de investigación que el girasol no es una planta muy sensible a variaciones de pH en el suelo, tolera desde 5,8 hasta más de 8. Además, no es una planta exigente en cuanto a calidad de suelo se refiere, crece en la mayoría de suelos, aunque prefiere suelos con textura arcilloso-arenosa. Tiene la capacidad de acumular metales y responde con una alta biomasa radicular, sin embargo, con baja tolerancia al cromo. Por otro lado, tiene un potencial para Fitoacumular plomo en sus tejidos. El girasol es reportado por su capacidad de acumular metales y responder con una alta biomasa radicular y con una baja tolerancia al Cromo comparado a otras plantas acumuladoras; además, el girasol tiene efecto fitorremediador a concentraciones de uranio y cadmio en sus tejidos principalmente tallo y raíz. Según estudios los metales como el Pb, Zn, Cd se centraron en mayor cantidad en el tallo del girasol mientras que en sus hojas fue la menor parte que se concentraron los metales. Respecto a su raíz se concentró Cu, Ni, Mn en menores cantidades; al estudiar el efecto de Cd, Cu y Zn en el desarrollo del girasol y la concentración de estos en todas las partes de la planta, los resultados obtenidos mostraron altas concentraciones de Cu en la raíz del girasol con respecto a las hojas y tallo.

Rodrigo (2018) también afirma que los mecanismos para acumular metales pesados en plantas se deben a una interacción entre el entorno tanto interior como exterior de las plantas. La raíz constituye la entrada principal de los metales por el proceso de flujo masivo, intercambio catiónico. Estás están cargadas negativamente y reaccionan con las cargas positivas de los metales pesados

creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. Una vez unidas se transportan por la vía apoplastica y simplastica lo que asegura su asimilación en la planta.

3.2.8 Contaminación a causa de la minería en el Ecuador

En la provincia de Azuay el Ing. Guartatanga (2019) llevó a cabo su estudio con las condiciones climáticas de las zonas afectadas (pH, temperatura, tipo de suelo y pendiente), con esto se procedió a realizar la bioacumulación, bioestimulación y fitoextracción en la reducción de cobre y plomo del suelo contaminado con métodos biológicos al interior del campamento Guarumales - Corporación Hidroeléctrica del Ecuador, CELEC EP - Unidad de Negocio Hidropaute. Cabe recalcar que los resultados fueron favorables.

Jiménez (2020) en su proyecto de investigación expone información recopilada en varias provincias del país donde se evidencia la contaminación por cadmio en suelos, superando el límite máximo permitido de cadmio en suelos. La presencia de Cd en suelos del Ecuador, corresponde a las actividades antropogénicas, estimando que de las 300.000 toneladas de Cd que son liberadas cada año al medio ambiente, 4.000-13.000 son el resultado de las actividades humanas. Mientras que en el Pb la producción total de dicho metal ronda los 43 millones de toneladas cada año y el 95% del Pb que se encuentra depositado en el ambiente son de origen antropogénico. En Ecuador alrededor del 49% de las tierras están degradadas y un 22% se encuentra en proceso de desertificación en provincias como Manabí, Santa Elena, Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi presentan este problema ambiental.

Gallardo (2019) afirma que en Ecuador la zona minera se establece principalmente al sur del país en las provincias como el Oro, esta actividad es fuente principal de ingresos en ciertos sectores. La visión del país tiene como prioridad

desarrollar la actividad minera dentro del mismo, por esto se han realizado estudios los cuales demuestran que Ecuador cuenta con zonas suficientemente potenciales para un desarrollo minero a gran escala. Al realizar actividades de extracción de minerales y materias primas se provoca alteraciones en los recursos naturales. El suelo es un recurso importante para la economía de sectores aledaños a las zonas mineras debido a su uso en la agricultura. En sectores como Puerto Bolívar, específicamente en el estero Huayá se han encontrado niveles de mercurio entre 0,89 y 5,79 µg/g, este resultado demuestra un elevado efecto de contaminación antrópica en los ecosistemas del estero posiblemente proveniente de las zonas de minería de oro.

Sandoval (2001) afirma que la minería de oro en el sur del Ecuador ha causado considerables impactos ambientales, siendo los más severos de las áreas Portovelo-Zaruma y Ponce Enríquez. Los principales contaminantes son cianuro, metales pesados y mercurio. Las fuentes más significativas de estos contaminantes son las colas descargadas directa o indirectamente en los ríos, por los sistemas de disposición inadecuados. La descarga de estos contaminantes ha provocado la extinción de toda forma de vida superior en ciertos tramos de los ríos; además en varios lugares la mala calidad del agua imposibilita su uso como agua potable, para irrigación o criaderos acuáticos. En Portovelo-Zaruma hay una pérdida significativa de tierras agrícolas y pérdida de tierras para viviendas.

3.3 Marco Legal

3.3.1 Constitución de la República del Ecuador

> Art. 14.- Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay: se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 71.- Reconoce a la naturaleza, donde se reproduce la vida, el derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales; el tercer inciso determina que el estado incentivara a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan a las naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.
Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.
Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.
(Constitución de la República del Ecuador, 2008)

3.3.2 Ley Minera

Art. 25.- De las áreas protegidas.- Se prohíbe la actividad extractiva de recursos no renovables en áreas protegidas. Excepcionalmente dichos recursos se podrán explotar a petición fundamentada de la Presidencia de la República, y previa declaratoria de interés nacional por parte de la Asamblea Nacional, de conformidad a lo determinado en el artículo 407 de la Constitución de la República del Ecuador.
Art. 30.- Concesiones mineras.- El Estado podrá excepcionalmente delegar la participación en el sector minero a través de las concesiones. La concesión minera es un acto administrativo que otorga un título minero, sobre el cual el titular tiene un derecho personal, que es transferible previa la calificación obligatoria de la idoneidad del cesionario de los derechos mineros por parte del Ministerio Sectorial, y sobre éste se podrán establecer prendas, cesiones en garantía y otras garantías previstas en las leyes, de acuerdo con las prescripciones y requisitos contemplados en la presente ley y su reglamento general.
Art. 43.- Residuos minero - metalúrgicos.- Constituyen residuos minerometalúrgicos los desmontes, escombreras, relaves, desechos y escorias resultantes de las actividades minero-metalúrgicas. Los residuos minerometalúrgicos forman parte accesoria de la concesión, planta de beneficio o fundición de donde provienen, aunque se encuentren fuera de ellas. El titular del derecho minero puede aprovecharlos libremente
Art. 54.- Cancelación de la licencia.- El incumplimiento de las obligaciones señaladas en el artículo anterior dará lugar a la cancelación de la licencia de comercialización, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan.
Art. 55.- Comercio clandestino de sustancias minerales.- Se considerará comercio clandestino de sustancias minerales a: a) Los titulares de concesiones mineras que comercien internamente sustancias minerales metálicas o exporten minerales metálicos o no metálicos de otras concesiones, sin la licencia exigida

en el artículo 50; y; b) Los productores mineros que vendan sustancias minerales metálicas a personas o entidades no autorizadas para su comercialización.

Art. 57.- Juzgamiento y sanciones.- La explotación ilegal o el comercio clandestino de sustancias minerales, calificado por la autoridad administrativa, será sancionado con el decomiso de la maquinaria, equipos y los productos objeto de la ilegalidad y el cobro de un valor equivalente al total de los minerales extraídos ilegalmente, sin perjuicio de las acciones penales que se deriven de estas infracciones. Sanciones que serán aplicadas a todo sujeto minero. Se garantiza el debido proceso. Las afectaciones al ambiente y el daño al ecosistema y biodiversidad producidos a consecuencia de la explotación ilícita o invasiones, serán considerados como agravantes al momento de dictar las resoluciones respecto del amparo administrativo.

Art. 65.- Sanción a invasores de áreas mineras.- Los que con el propósito de obtener provecho personal o de terceros, individual o colectivamente, invadan áreas mineras especiales, concesionadas y aquellas que tengan permisos artesanales, atentando contra los derechos del Estado o de los titulares de derechos mineros, serán sancionados con una multa de doscientos salarios básicos unificados, el decomiso de herramientas, equipos y producción obtenida, sin perjuicio de la demanda de amparo y de las sanciones penales que el caso requiera.

Art. 78.- Estudios de impacto ambiental y Auditorías Ambientales.- Los titulares de concesiones mineras y plantas de beneficio, fundición y refinación, previamente a la iniciación de las actividades mineras en todas sus fases, de conformidad a lo determinado en el inciso siguiente, deberán efectuar y presentar estudios de impacto ambiental en la fase de exploración inicial, estudios de impacto ambiental definitivos y planes de manejo ambiental en la fase de exploración avanzada y subsiguientes, para prevenir, mitigar, controlar y reparar los impactos ambientales y sociales derivados de sus actividades, estudios que deberán ser aprobados por el Ministerio del Ambiente, con el otorgamiento de la respectiva Licencia Ambiental. No podrán ejecutarse actividades mineras de exploración inicial, avanzada, explotación, beneficio, fundición, refinación y cierre de minas que no cuenten con la respectiva Licencia Ambiental otorgada por el Ministerio del ramo. Para el procedimiento de presentación y calificación de los estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental y otorgamiento de licencias ambientales, los límites permisibles y parámetros técnicos exigibles serán aquellos establecidos en la normativa ambiental vigente. Todas las fases de la actividad minera y sus informes ambientales aprobatorios requieren de la presentación de garantías económicas determinadas en la normativa ambiental legal y reglamentaria vigente. Los términos de referencia y los concursos para la elaboración de estudios de impacto ambiental, planes de manejo ambiental y auditorías ambientales deberán ser elaborados, obligatoriamente por el Ministerio del Ambiente y otras instituciones públicas competentes, estas atribuciones son indelegables a instituciones privadas.

Los gastos en los que el ministerio del ambiente incurra por estos términos de referencia y concursos serán asumidos por el concesionario. Los titulares de derechos mineros están obligados a presentar una auditoría ambiental anual que permita a la entidad de control monitorear, vigilar y verificar el cumplimiento de los planes de manejo ambiental.

Art. 80.- Revegetación y Reforestación.- Si la actividad minera requiere de trabajos a que obliguen al retiro de la capa vegetal y la tala de árboles, será

obligación del titular del derecho minero proceder a la revegetación y reforestación de dicha zona preferentemente con especies nativas, conforme lo establecido en la normativa ambiental y al plan de manejo ambiental.
Art. 82.- Conservación de la flora y fauna.- Los estudios de impacto ambiental y los planes de manejo ambiental, deberán contener información acerca de las especies de flora y fauna existentes en la zona, así como realizar los estudios de monitoreo y las respectivas medidas de mitigación de impactos en ellas.
Art. 83.- Manejo de desechos.- El manejo de desechos y residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas que la actividad minera produzca dentro de los límites del territorio nacional, deberá cumplir con lo establecido en la Constitución y en la normativa ambiental vigente.
Art. 87.- Derecho a la información, participación y consulta.- El Estado, es responsable de ejecutar los procesos de participación y consulta social a través de las instituciones públicas que correspondan de acuerdo a los principios constitucionales y a la normativa vigente. Dicha competencia es indelegable a cualquier instancia privada. Estos procesos tendrán por objeto promover el desarrollo sustentable de la actividad minera, precautelando el racional aprovechamiento del recurso minero, el respeto del ambiente, la participación social en materia ambiental y el desarrollo de las localidades ubicadas en las áreas de influencia de un proyecto minero.
(Ley Minera, 2009)

3.3.3 Código Orgánico Ambiental

En sus Disposiciones Reformatorias explica:

OCTAVA.- Sustitúyase el último inciso del artículo 109 de la Ley de Minería por el siguiente: "No obstante los efectos señalados en los literales precedentes, en caso de declaratoria de caducidad, subsistirá la responsabilidad del ex titular, por daños ambientales que implica además la obligación de restauración de los ecosistemas y reparación integral a las personas y comunidades, si hubiera lugar a ello.
NOVENA.- Sustitúyase el segundo inciso del artículo 115 de la Ley de Minería por el siguiente: "La calificación del daño ambiental se efectuará de conformidad con las disposiciones del Código Orgánico del Ambiente. Cuando haya afectación de recursos hídricos a causa de las actividades mineras, la calificación de daño ambiental deberá considerar el pronunciamiento de la autoridad única del agua.
(Código Orgánico del Ambiente, 2017)

4. Desarrollo del contenido.

4.1 Características del Helianthus annuus sobre la capacidad fitorremediadora en suelos contaminados por cianuro, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo.

Para iniciar el análisis de las características del Helianthus annuus se debe mencionar a varios autores, entre los que destaca Peña (2019) evaluó la capacidad de absorción del Helianthus Annuus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo, en este trabajo se recalca la enorme capacidad de absorción de contaminante (Pb) del suelo, debido a la poco movilidad que tiene el mismo dentro de la planta, cuando se extrae la planta del suelo, también se extrae una concentración considerable del suelo.

Liñan (2019) estudió la fenología del girasol (Helianthus annuus) cultivado en suelos contaminados por metales pesados de la ex minera Santa Rosa de Cata-Coayllo-Cañete, además se encargó de realizar experimentos en suelos contaminados a diferentes concentraciones con metales pesados y con una adición de un porcentaje bajo de materia orgánica, la planta presento signos de absorción en su estructura, pero no impidió de alguna manera su crecimiento dado a la existencia de abono agregado lo que indica gran resistencia a las distintas concentraciones de los metales pesados y otros contaminantes (cianuro, mercurio).

Caballero (2018) analizó los efectos positivos generados por los microorganismos en la actividad fitoextractora de Helianthus annuus L. en suelos contaminados con metales pesados por minería en Samne, también utilizó un método de procesamiento estadístico aleatorio complementado con un análisis de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Sus resultados fueron positivos en los tratamientos de microorganismos eficientes y Helianthus annuus L. ya que si

poseen la capacidad de fitoextraer metales pesados tales como: Pb (44.95%), seguido de Fe (30.94%), Cu (29.91%), Cr (28%), Hg (26%), Mn (23%), Cd (15.95%) con la aplicación de la dosis de microorganismos eficientes en un porcentaje de 10%. En menor cuantía los microorganismos eficientes removieron Zn, con la concentración de 10% fue de 12.40%, resulta prueba irrefutable de que el girasol puede ser utilizado para la extracción de los metales pesados del suelo contaminado.

Por su parte Panchi (2015) analizó el efecto y tolerancia de semillas de Helianthus annuus (Asteraceae), menta piperita (Lamiaceae) y Medicago trabajando con el cadmio como contaminante y menciona que se ha ido investigando el potencial de tolerancia que existe en las semillas de girasol con respecto a otras semillas de especies vegetales diferentes ante la presencia de este tipo de metal pesado que representa un enorme peligro a la biota, los resultados fueron prometedores debido a que las semillas de girasol realizaron una extracción considerablemente alta ante los resultados de las otras semillas.

Rodrigo (2018) también afirma en su trabajo que el girasol no es una planta muy exigente ante los cambios de pH en el suelo, ya que tolera variaciones desde 5,8 hasta más de 8. Tampoco exige un tipo de suelo en especial, ya que crece en la mayoría, aunque se desarrolla mejor en suelos con textura arcilloso-arenosa.

Estas son las características más relevantes mencionadas en este trabajo sobre minería y fitoextracción, esto gracias al potencial fitoacumulador de cianuro, mercurio, arsénico, cadmio, cromo y plomo en sus tejidos (raíz, tallo y hojas).

4.2 Contaminación generada por metales pesados a causa de las actividades mineras en la zona sur del Ecuador (El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe).

Los autores Pérez y Martín (2015) afirman en su trabajo que los procesos de extracción minera usados para la obtención de minerales con alto valor comercial generan residuos que constituyen una de las principales causas de la contaminación de los suelos con elementos potencialmente tóxicos (EPT).

En el sur del Ecuador, las zonas más afectadas corresponden a El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe por lo cual es importante establecer una planta que posea la capacidad de absorber concentraciones elevadas de metales pesados, como el estudio realizado ya avalado por Violina, Zhivko, Radka y Krassimir (2016), los cuales aseguran que el Helianthus annuus presentó un porcentaje de remoción del 94% de metales como plomo (Pb), zinc (Zn) y cadmio (Cd) en las zonas antes mencionadas.

Por su parte Oliveira, Servulo y Liduino (2018) evaluaron la capacidad del girasol para eliminar metales pesados de la zona de Morona Santiago y Zamora Chinchipe e incluso hidrocarburos del suelo presentes como biosurfactantes, obteniendo una eficiencia de 58% en la eliminación de hidrocarburos y 29% en la eliminación de plomo (Pb).

El autor Guartatanga (2019) llevó a cabo su investigación en Azuay con las condiciones de la zona afectada (pH, temperatura, tipo de suelo y pendiente), con estas variables procedió a realizar el experimento de bioacumulación, bioestimulación y fitoextracción en la reducción de cobre y plomo del suelo contaminado, a esto le sumó métodos biológicos al interior del campamento

Guarumales - Corporación Hidroeléctrica del Ecuador, CELEC EP - Unidad de Negocio Hidropaute. Cabe recalcar que los resultados fueron favorables.

Sandoval (2001) confirma que la minería de oro ubicada en la zona sur del Ecuador ha causado considerables daños ambientales, siendo los más severos de las áreas Portovelo-Zaruma y Ponce Enríquez. Los contaminantes presentes en estos suelos son: cianuro, metales pesados y mercurio. Las fuentes de emisión localizadas más significativas son los efluentes de descargas mineras que se generan de manera directa o indirectamente (infiltración) en los ríos, por los sistemas de disposición inadecuados. La mala gestión de este tipo de desechos ha provocado la muerte de la biota en general en varios tramos de los ríos; por otra parte, en varios lugares la calidad del agua es pésima e imposibilita su uso como agua potable, para irrigación o criaderos acuáticos. En Portovelo-Zaruma existe en la actualidad una pérdida significativa de tierras agrícolas y pérdida de tierras para viviendas.

4.3 Eficiencia del Helianthus annuus en remediación de suelos contaminados por metales pesados mediante la recopilación de estudios previos sobre el tema de interés

Análisis realizado con los aportes generados en la región y el país, enfocados principalmente en las provincias de El Oro, Azuay, Loja, Morona Santiago y Zamora Chinchipe se puede determinar que según los autores:

La Universidad de las Fuerzas Armadas por medio de Espín (2012) realizó un trabajo sobre “Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco.”, la localización fue en la provincia del Azuay y se encargó de evaluar el crecimiento de H. annuus, mediante la adición de acondicionadores orgánicos e inorgánicos en un relave minero a fin de lograr la

fitoextracción de plomo, zinc y cadmio, los resultados fueron favorables debido a que existió una remoción considerable de los metales pesados en el suelo contaminado tratado.

En contraste con los trabajos positivos mencionados en los anteriores resultados, Juárez (2016) en su aporte titulado “Acumulación de metales pesados en Helianthus annuus desarrollado en residuos de mina” menciona una beneficiosa evaluación en el desarrollo de Helianthus annuus L. y su capacidad de extracción de metales pesados en residuos de mina, luego de una caracterización fisicoquímica y la adición de nutrientes se encontró que: existe una mayor acumulación de plomo, zinc y cadmio en el tallo y el con el cobre, níquel y manganeso se concentraron en mayor cantidad en las raíces. No se observó ningún efecto positivo para el desarrollo de la planta con la incorporación de composta y nutrimentos, como se mencionó, este aporte difiere de los antes citados debido a que no existe una mayor incidencia en el crecimiento de la planta al añadirle elementos extras en comparación a los otros métodos antes mencionados.

Al finalizar el análisis se menciona a Gallardo (2019) de la Universidad Agraria del Ecuador quien crea una propuesta llamada “Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de *Helianthus annuus L* en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador”; donde afirma que en las zonas mineras costeras se establece una gran cantidad de la población debido a los ingresos que genera. Surgen así este trabajo en respuesta a las problemáticas generadas por la minería legal y artesanal (ilegal y muy peligrosa) todo con el fin de frenar los impactos negativos que son generados (o se podrían generar) en las zonas de influencia humana.

Se muestra una tabla de los trabajos revisados para el análisis.

Tabla 1. Papers revisados en toda la Monografía para el análisis.

Nivel	Investigaciones a favor	Investigaciones en contra
Regional	6	1
Local	7	0

Rodríguez, 2021.

Con respecto al tercer objetivo se indagó en varias fuentes en la búsqueda de estudios que evidencien la eficiencia del *Helianthus annuus* en la remediación de suelos contaminados por la minería, encontrando los resultados que se presentan la figura 1.

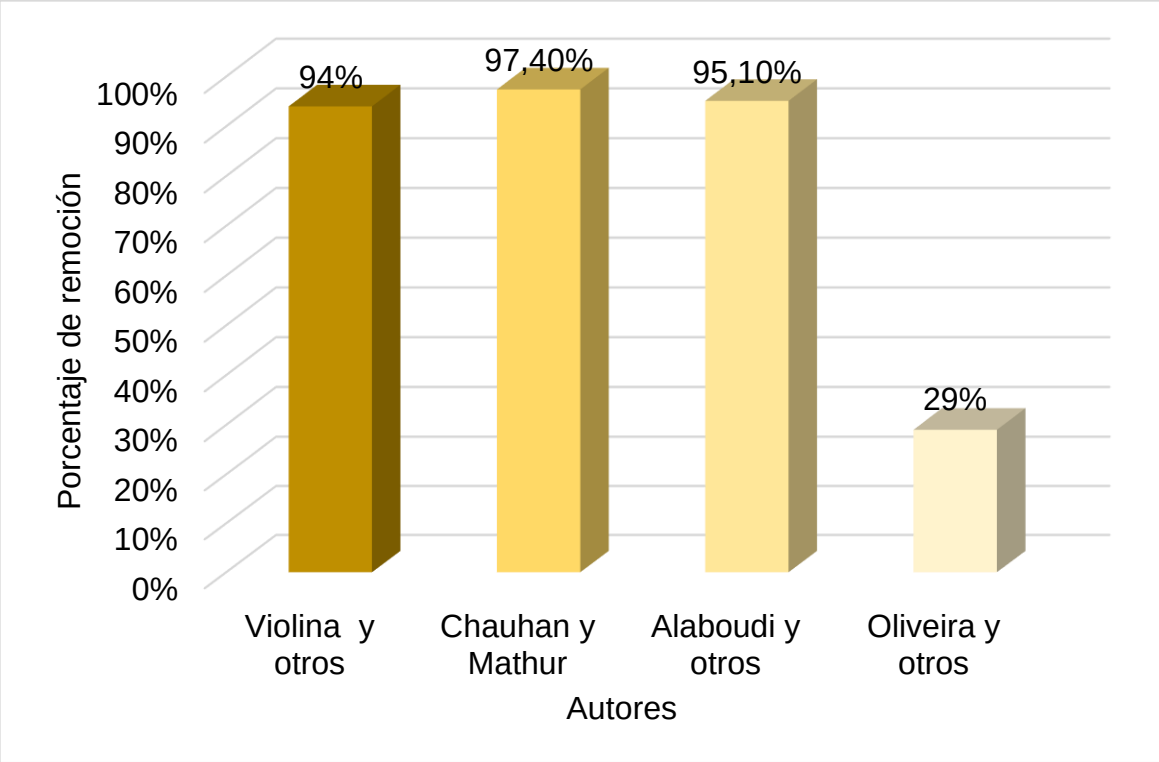

Figura 1. Porcentaje de eficiencia de remoción de metales pesados de Helianthus annuus según varios autores
Rodríguez, 2021.

Se evidencia la eficiencia del girasol en remediación de suelo de acuerdo a varios autores.

5. Conclusiones

En la parte sur del Ecuador continental (región Costa, Sierra y Amazonia) se ha generado una gran preocupación en el ámbito académico, social y económico con respecto al tema de la contaminación del suelo por metales pesados, dado a que no existen fuertes restricciones para combatir las actividades mineras de origen artesanal (ilegales, siendo estas las que más residuos peligrosos generan), por otra parte, las mineras que funcionan con los permisos de ley propagan este tipo de metales pesados al suelo tomando ellos medidas que muchas veces no logran mitigar la contaminación, según el estudio de la Tesina las provincias (según su región) más afectadas por el efecto de los metales pesados son: El Oro, Azuay y Zamora Chinchipe.

La planta *Helianthus annuus* tiene una enorme capacidad fitorremediadora, debido a las características de asimilación que presenta en su estructura molecular, esto sumado a su adaptabilidad para crecer en los suelos contaminados por Cianuro, Mercurio, elementos radioactivos y metales pesados como el Cd, Zn, Mn (incluso este tipo de suelos favorece a las semillas y acelera su proceso de crecimiento), es así que una vez unidos los componentes del contaminante al girasol se transportan por la vía apoplastica y simplastica alrededor de la planta asegurando su asimilación y retención; en esto consiste el proceso de extracción y retención del contaminante con la fitorremediación probados eficazmente alrededor del mundo.

Mediante este análisis se demostró que la capacidad fitorremediadora de la planta *Helianthus annuus* (Girasol) analizada en esta Tesina es ideal para la recuperación de los suelos contaminado por la minería debido a de que la planta asimila en su estructura (raíz, tallo y hojas) de manera bastante efectiva los metales

pesados que causan estragos en los suelos del sur del Ecuador y del mundo, es así que se destaca por sobre otras opciones existentes que incluyen mayor valor económico y un gran impacto al suelo a nivel paisajístico; se propone el uso de este método de fitorremediación con esta planta como mejor alternativa ambiental para la regeneración del suelo.

6. Recomendaciones

Realizar una implementación inmediata de la planta Helianthus annuus como fitorremediador de los suelos contaminados por actividades mineras en la zona sur del Ecuador (enfocado en las provincias de mayor impacto negativo El Oro, Azuay y Zamora Chinchipe), debido a su poca influencia negativa al ambiente y su sencilla ejecución de método de aplicación.

Fortalecer la legislación actual para favorecer e incentivar este tipo de tratamientos amigables con el ambiente en el caso de contaminación de suelos.

Realizar mayor investigación sobre los beneficios de esta planta no solo en el caso de los suelos contaminados por minería, sino también en suelos contaminados por hidrocarburos, desastres químicos y suelos afectados por plaguicidas y pesticidas (agrícolas).

7. Bibliografía

Alaboudi, K., Ahmed , B., & Brodie , G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (Helianthus annuus) plant. *Annals of Agricultural Sciences, 63*(1), 123-127. doi:https://doi.org/10.1016/j.aoas.2018.05.007

Oliveira, F., Servulo, E., & Liduino, V. (2018). Biosurfactant-assisted phytoremediation of multi-contaminated industrial soil using sunflower (Helianthus annuus L.). *Journal of Environmental Science and Health, Part A, 12*(3), 609-616 . doi:https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1429726

Violina, A., Zhivko, T., Radka, I., & Krassimir, I. (2016). POTENCIAL DE GIRASOL (HELIANTHUS ANNUUS L.) PARA FITOREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS. *Ciencias Agrícolas, 8*(20), 255-263. Obtenido de https://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=13136577&AN=123434938&h=wL2y1QcPifrc%2bzJ7eWZNUL5xfM1kC51md%2fzBb5Hw06OAOkTbpTnUb19hDXr1PykuHAGymk4wnpO7bKPxrLR%2bHQ%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLo

Acosta, A. (2016). *Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.* Obtenido de https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/12/10/plantas-hiperacumuladoras-de-metales-pesados/

Argadoña, V. (2007). *Transporte a través del floema.* Obtenido de https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transporteatrav%C3%A9sdelfloema.pdf

Bautista, A., Etchevers, A., Castillo, R., & Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 90-97. Obtenido de http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572

Becerril, J., Barrutia, O., Plazaola, J., Hernández, A., Olano, J., & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 50-55.

Beltrano, J. (2011). *Fisiología vegetal.* Obtenido de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/76820/mod_resource/content/1/Transporte%20de%20fotoasimilados.pdf

Caballero, M. (2018). *Efecto de los microorganismos eficientes en la actividad fitoextractora de Helianthus annuus l. en suelos contaminados con metales pesados por minería en Samne.* Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25058

Cañizares, R. (2000). *Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana.* México: Revista Latinoamericana de Microbiología. Obtenido de https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2000/mi003f.pdf?q=metales

Chapman, M. (2020). *Greenfacts*. Obtenido de https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/absorcion.htm

Chauhan , P., & Mathur, J. (2018). Potential of Helianthus annuus for phytoremediation of multiple pollutants in the environment: A Review. *Journal of Biological Sciences and Medicine, 4*(3), 5-16. Obtenido de http://www.grasscogardentools.com/index.php/jbsm/article/view/108

Chauhan , P., & Mathur , J. (2020). Phytoremediation efficiency of Helianthus annuus L. for reclamation of heavy metals-contaminated industrial soil.

Environmental Science and Pollution Research, 27, pages29954–29966. doi:https://doi.org/10.1007/s11356-020-09233-x

Chico, J. (2012). Capacidad remediadora de la raíz de girasol,Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentesconcentraciones de plomo. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 13-19. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Julio-Chico/publication/327212302_Remedial_capacity_of_sunflower_root_when_submitted_to_different_concentrations_of_lead/links/5b806493a6fdcc5f8b647d80/Remedial-capacity-of-sunflower-root-when-submitted-to-different-co

Chinchay, M., & Kenyi, C. (2020). *Fitoremediación de suelos contaminados por metales (plomo y cadmio) mediante planta nativa Maiz "Zea Mays. L" en la minería.* Lima, Perú: Universidad Peruana Unión.

Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983.* Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Coello, J., & Burgos, F. (2012). *Aplicación del Hongo Pleurotus Ostreatus como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados.* Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador 2008.* Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Corpus, M. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Sanra Rosa de*

Jangas, en condiciones de invernadero. Huaraz, Perú: Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo". Obtenido de http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597-612. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf

Duarte, G. (2014). *Mejoramiento de suelos con adiciones químicas*. Obtenido de https://es.scribd.com/document/203962812/Mejoramiento-de-suelos-con-adiciones-quimicas

Escamilla, M. (2018). *Comparación de Dos Sustratos Orgánicos en la Producción de Plantas de Ornato de la Especie Coralito Enano*. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/944/94457671004/html/#:~:text=El%20jal%20es%20un%20material,como%20piedra%20p%C3%B3mez%20%5B5%5D.

Español, S. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica*, 2. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/843/84324092001.pdf

Espín, D. (2012). Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* , 13-19. Obtenido de https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/2137/1600

Fernández, F. (2011). *Sistema de adsorción*. Obtenido de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4986/fichero/Cap%C3%ADtulo3+Sistema+de+adsorci%C3%B3n.pdf

Ferrua, S. (2021). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies "Tradescania Padilla" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con polomo de la zona de las Lomas de Carabyllo.* Lima, Perú: Universidad Peruana Unión.

Fertilab. (2013). *La Importancia de la Rizósfera.* Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/176-Importancia-de-la-Rizosfera.pdf

Forte, J., & Mutiti, S. (2017). Phytoremediation Potential of Helianthus annuus and Hydrangea paniculata in Copper and Lead-Contaminated Soil. *Water Air Soil Pollut, 228*(77). doi:https://doi.org/10.1007/s11270-017-3249-0

Gallardo, S. (2019). *Propuesta de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador.* Guayaquil, Ecuador: Universidad Agraria Del Ecuador.

García, I., Simón, M., Dorronsoro, C., Aguilar, J., Martín, F., & Ortiz, I. (2000). Contaminación de suelos por oxidación de lodos piríticos. *Edafología*, 159-168. Obtenido de https://www.secs.com.es/data/Revista%20edafo/Volumen%207-3.%20Septiembre%202000.%20pa%20159-168.pdf

Guartatanga, E. (2019). *Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento Guarumales - Corporación Hidroelectrica del Ecuador, CELEC EP - Unidad de Negocio Hidropaute.* Obtenido de

https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17835/1/UPS-CT008444.pdf

Gutiérrez, L., Melgoza, A., Alarcón, M., Ortega, J., Prado, D., & Cedillo, M. (2011). Germinacion del girasol silvestre (Helianthus annuus L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 49-56. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Maria-Alarcon-Herrera/publication/267298061_Germinacion_del_girasol_silvestre_Helianthus_annuus_L_en_presencia_de_diferentes_concentraciones_de_metales/links/55988edd08ae21086d23703c/Germinacion-del-girasol-silvestre-H

Jiménez, C. (2020). *Análisis descriptivo del Helianthus annuus y Zea mays como acumuladores de (Cd, Pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados.* Guayaqui, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JIMENEZ%20VELEZ%20CINTHYA%20MARIUXI.pdf

Juárez, Y. (2016). Acumulación de metales pesados en Helianthus annuus desarrollado en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3-6. Obtenido de http://reibci.org/publicados/2016/nov/1900109.pdf

León, V. (2017). *Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna sac, en condiciones de invernadero, 2015-2016.* Lima, Perú: Universidad Nacional "Santiago Antúnez Mayolo".

Ley Minera. (2009). *Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador.* Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf

Liñan, R. (2019). *Fenología del girasol (Helianthus annuus) cultivado en suelos contaminados por metales pesados de la ex minera Santa Rosa de Cata-Coayllo-Cañete.* Obtenido de http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/151/1/Roca_Peter_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf

Nohlen, D. (2004). *El método comparativo, entre complejidad y generalización.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/312530854_El_metodo_comparativo_entre_complejidad_y_generalizacion

Nuñez, R. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.* México: Accelerating the world's research. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53300541/Fitorremediacion-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1625339120&Signature=BJCY0eeAbUoUg-A4bke4PodPlZ5N~8GWqrWiEMrrtoLfRNUW3edqYdSIX00r9DP16Y0cLqp2jUkXF1ptdeaSh-cMhoaRuB2lxXjaO7bZ7KqRlXf7~AsLkyDsrYVRl0xwBcDfbzyPIzK

Panchi, F. (2015). *Efecto y tolerancia de semillas de Helianthus annuus (Asteraceae), menta piperita (Lamiaceae) y Medicago.* Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10094/6/UPS-ST001611.pdf

Peña, I. (2019). *Evaluación de la capacidad de absorción del Helianthus Annus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo.* Villa El Salvador: Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur. Obtenido de http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/167

Pérez, I., & Martín, F. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados por una zona minera de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 1-12. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v67n1/v67n1a1.pdf

Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 29-44. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniera, Investigación y Desarrollo*, 66-77. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110

Rizo, J. (2015). *Técnicas de investigación documental.* Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

Rodrigo, D. (2018). *Capacidad fitorremediadora de la especie Helianthus annuus mediante la incorporación de enmiendas a suelos contaminados por metales pesados de industrias Metalmecánicas.* Lima: Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1297

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo.* Montevideo, Urugay: Universidad De La República. Obtenido de Universidad De La República: http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf

Sanchez, L. (2013). *Aplicación de técnicas de volatilización.* Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/039/44039345.pdf?r=1&r=1

Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador.* Quito, Ecuador: MMSD. Obtenido de https://intranetua.uantof.cl/crea/cguerra/pdffiles/otros/075_ecuador_esp.pdf

Servellón, D. (2011). *Bioprospección de plantas metalofitas/pseudometalofitas en zonas mineras de El Salvador.* Obtenido de http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8774/2/19200927.pdf

Tapia, Y. (2011). *Fitorremediacion De Suelos Contaminados Con Arsenico Y Metales Pesados Mediante El Uso De Arbustos Del Genero Atriplex En La Region De Antofagasta, Chile.* Obtenido de http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/182970

Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Rev Esp Salud Pública*, 117-127. Obtenido de https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/resp/v79n2/v79n2a01.pdf

Vásconez, M., & Torres, L. (2018). Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América*, 83-103.

Vela, N., & Guamán, M. (2019). Biorremediación eficiente de efluentes metalúrgicos mediante el uso de microalgas de la Amazonía y los Andes del Ecuador. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 917-929.

Vilcapaza, J. (2018). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (Astragalus arequipensis) en funcion de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminadopor la actividad minera*

del centro poblado de Riconda - Región Puno. Juiaca, Perú: Universidad Peruana Unión. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1709/Jean_Tesis_Licenciatura_2018%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yacolca, M. (2017). *Capacidad fitorremediadora de la ortiga (Urtica urens) en suelos contaminados con plomo por pasivo ambiental ubicado en la localidad de San Miguel-Cerro de Pasco.* Lima, Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/29038

8. Glosario

Absorción: Retención de una sustancia por las moléculas que posee otra bien sea en estado líquido o gaseoso (Chapman, 2020).

Adsorción: Proceso reversible mediante el cual un gas es fijado en un sólido, habitualmente un material poroso (Fernández, 2011).

Estabilización química del suelo: Consiste en añadir al suelo otros materiales, o productos químicos, que modifican sus propiedades, ya sea por una reacción fisicoquímica, o mediante la creación de una matriz que aglomere las partículas del suelo (Duarte, 2014).

Fitorremediación: Proceso que aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Tapia, 2011).

Jal: Es un material ligero, similar a la caliza o a la arenisca, es de color beige y como componente en una mezcla de sustratos brinda porosidad y ligereza. Es un sustrato orgánico de origen natural que se obtiene a partir de rocas o minerales de origen volcánico, también es conocido como piedra pómez (Escamilla, 2018)

Metalófitas: Tipo de plantas que sobreviven en suelos contaminados con metales pesados (Servellón, 2011).

Rizosfera: Zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo (Fertilab, 2013).

Planta hiperacumuladora: planta capaz de crecer en suelos con grandes concentraciones de metales pesados, concentraciones que resultan tóxicas incluso para especies cercanamente emparentadas a la misma (Acosta, 2016).

Volatilización: Proceso que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (Sanchez, 2013).

Vía apoplastica: La mayor parte del agua y una parte de las sales minerales circulan por los espacios intercelulares hasta llegar a la endodermis. Es una vía de transporte extracelular (Argadoña, 2007).

Vía simplastica: Parte del agua y la mayor parte de las sales minerales circulan por el interior de la raíz a través del citoplasma de las células del córtex. Es una vía de transporte intracelular o transcelular (Beltrano, 2011).

9. Anexos

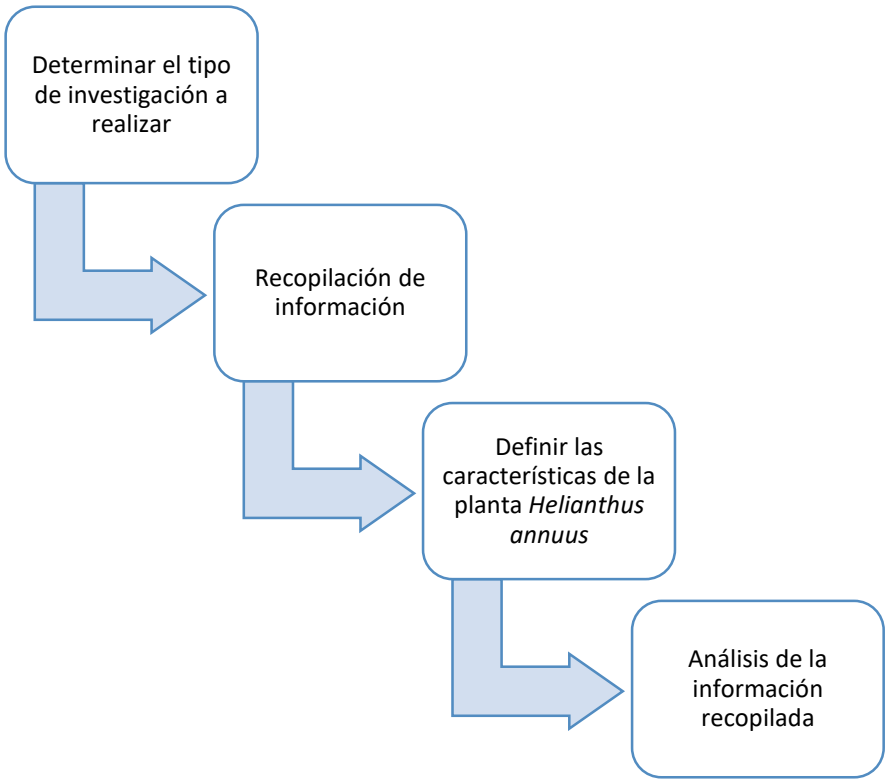

Figura 2. Diagrama de la investigación propuesta.
Rodríguez, 2021.

Figura 3. Planta de Helianthus annuus.
Rodríguez, 2021.

.