



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

**TESIS**

**USO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) COMO  
FITORREMEDIAADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR  
MINERÍA PARA SU USO EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN  
PORTOVELO**

**TRABAJO EXPERIMENTAL**

**SERVICIOS AMBIENTALES**

**AUTORAS  
HIDALGO JAÉN NAOMI ELIZABETH  
MOREIRA ROJAS RUTH ELIZABETH**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2021**



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

**USO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) COMO  
FITORREMEDIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR  
MINERÍA PARA SU USO EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN  
PORTOVELO  
TRABAJO EXPERIMENTAL**

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

**AUTORAS  
HIDALGO JAÉN NAOMI ELIZABETH  
MOREIRA ROJAS RUTH ELIZABETH**

**TUTOR  
PhD. JOSÉ IBRAHIN HERNÁNDEZ ROSAS**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**



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

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, PhD. JOSÉ IBRAHIN HERNÁNDEZ ROSAS, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: USO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) COMO FITORREMIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA PARA SU USO EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN PORTOVELO, realizado por las estudiantes HIDALGO JAÉN NAOMI ELIZABETH; con cédula de identidad N° 0955394408 Y MOREIRA ROJAS RUTH ELIZABETH; con cédula de identidad N° 0952324291 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,

---

PhD. José Ibrahin Hernández Rosas  
jhernandez@uagraría.edu.ec

Guayaquil, 17 de junio del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA 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: USO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) COMO FITORREMIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA PARA SU USO EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN PORTOVELO, realizado por las estudiantes HIDALGO JAÉN NAOMI ELIZABETH Y MOREIRA ROJAS RUTH ELIZABETH, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

**Blgo. Raúl Arizaga Gamboa.  
PRESIDENTE**

---

**Oce. Leila Zambrano Zavala  
EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**Ing. Fernando González Soto  
EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**PhD. José Hernández Rosas  
EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 17 de junio del 2021

### **Dedicatoria**

A Dios que nos permitió culminar esta etapa tan importante para nuestras vidas, a nuestros padres y hermanos por el amor, dedicación y esfuerzo brindado, y a nuestro tutor por su apoyo fundamental para culminar este proyecto.

### **Agradecimiento**

Agradecemos a Dios, nuestros padres y toda nuestra familia que fueron el motor fundamental para culminar con éxito este proyecto, también a nuestro tutor el Dr. José Hernández por brindarnos su conocimiento y con paciencia ayudarnos a llevar a cabo este tema.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Nosotros, HIDALGO JAÉN NAOMI ELIZABETH Y MOREIRA ROJAS RUTH ELIZABETH en calidad de autores del proyecto realizado, sobre “USO DEL GIRASOL (*Helianthus annuus*) COMO FITORREMIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA PARA SU USO EN PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN PORTOVELO” 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 autor(a) 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, 23 julio día del 2021

---

Hidalgo Jaén Naomi Elizabeth  
C.I.: 0955394408

---

Moreira Rojas Ruth Elizabeth  
C.I.: 0952324291

## Índice General

<b>PORTADA .....</b>	<b>1</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>3</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>5</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>6</b>
<b>Autorización de Autoría Intelectual .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>14</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>16</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Planteamiento y formulación del problema .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2 Formulación del problema .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3 Justificación de la investigación .....</b>	<b>21</b>
<b>1.4 Delimitación de la investigación .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5 Objetivo general .....</b>	<b>23</b>
<b>1.6 Objetivos específicos .....</b>	<b>23</b>
<b>1.7 Hipótesis.....</b>	<b>24</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Estado del arte .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>26</b>

2.2.1	Minería .....	26
2.2.1.1	<i>Minería artesanal</i> .....	27
2.2.1.2	<i>Minería subterránea</i> .....	27
2.2.1.3	<i>Metales pesados por actividad minera</i> .....	27
2.2.2	Fitorremediación.....	29
2.2.3	Fitoextracción .....	30
2.2.4	Hiperacumulación.....	30
2.2.5	<i>Cecropia peltata</i> .....	30
2.2.6	<i>Fuertesimalva echinata</i> .....	31
2.2.7	<i>Helianthus annuus</i> .....	31
2.2.7.1	<i>Fenología del girasol</i> .....	32
2.2.8	Abonado .....	32
2.2.9	Fertilizante.....	33
2.2.10	Humus de lombriz.....	33
2.3	Marco legal .....	35
2.3.1	Constitución de la República del Ecuador (2015).....	35
2.3.2	Ley minera.....	35
2.3.3	Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, uso y gestión de suelo 38	
2.3.4	Reglamento Ambiental de actividades mineras, Ministerio Ambiente 39	
2.3.5	Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y criterios de remediación para suelos contaminados .....	39
3.	Materiales y métodos.....	40
3.1	Enfoque de la investigación .....	40

3.1.1	Tipo de investigación .....	40
3.1.1.1	<i>Investigación bibliográfica o documental</i> .....	40
3.1.1.2	<i>Investigación experimental</i> .....	40
3.1.1.3	<i>Investigación de campo y laboratorio</i> .....	40
3.1.2	Diseño de investigación .....	41
3.2	Metodología.....	41
3.2.1	Variables.....	41
3.2.1.1	<i>Variable independiente</i> .....	41
3.2.1.2	<i>Variable dependiente</i> .....	41
3.2.2	Tratamientos .....	42
3.2.3	Diseño experimental .....	44
3.2.4	Recolección de datos .....	44
3.2.4.1	<i>Recursos</i> .....	44
3.2.4.2	<i>Métodos y técnicas</i> .....	45
3.2.5	Análisis estadístico .....	49
4.	Resultados.....	50
4.1	Realización del muestreo de suelo en el área de influencia de actividad minera en Portovelo y su respectivo análisis en un laboratorio acreditado para la determinación de presencia de mercurio. ....	50
4.2	Establecimiento del cultivo de la especie <i>Helianthus annuus</i> mediante la aplicación de cuatro tratamientos para estimación de mejoras en el desarrollo del cultivo. ....	51
4.3	Evaluación de la eficiencia de los tres tratamientos de fitorremediación con nutrientes, y compararlos con las plantas testigos en	

suelo sin contaminantes con base en la dinámica de crecimiento mediante la observación y análisis de un laboratorio acreditado. ....	52
4.4 Determinación de la concentración de mercurio absorbido por la planta fitoextractora en cada uno de los tratamientos establecidos mediante los resultados obtenidos de los análisis en un laboratorio acreditado para su posterior valoración de la efectividad del estudio .....	65
4.5 Estimación de la factibilidad económica y ambiental del uso de la planta como fitorremediador en grandes extensiones mediante estimación de costos de producción y cierre del proyecto para considerar si es rentable el uso de la planta a gran escala.....	66
5. Discusión.....	68
6. Conclusiones .....	71
7. Recomendaciones .....	72
8. Bibliografía .....	73
9. Anexos.....	83
9.1 Anexos 1. Figuras .....	83
9.2 Anexos 2. Tablas.....	91

## Índice de tablas

Tabla 1. Resultado de análisis de muestras para determinación de presencia de mercurio .....	50
Tabla 2. Altura final de las réplicas por cada tratamiento .....	53
Tabla 3. Conteo final de hojas de las réplicas por cada tratamiento.....	54
Tabla 4. Peso seco final de cada tratamiento.....	55
Tabla 5. Análisis de varianza de cada tratamiento .....	56
Tabla 6. Método de Tukey aplicado a la comparación de los diversos tratamientos .....	57
Tabla 7. Método de Tukey aplicado a resultados de cada tratamiento .....	58
Tabla 8. Análisis de varianza del conteo de hojas.....	59
Tabla 9. Método de Tukey aplicado a la comparación del número de hojas de los diversos tratamientos .....	60
Tabla 10. Método de Tukey aplicado a resultados del conteo de hojas de cada tratamiento.....	61
Tabla 11. Análisis de varianza de peso seco de hojas .....	62
Tabla 12. Método de Tukey aplicado a la comparación de peso seco de los tratamientos aplicados .....	63
Tabla 13. Método de Tukey aplicado a resultados del peso seco de las hojas de cada tratamiento .....	64
Tabla 14. Resultado de análisis de concentración de mercurio en partes vegetales del girasol .....	65
Tabla 15. Cotización de factibilidad económica y ambiental del proyecto .....	67
Tabla 16. Coordenadas geográficas del cantón .....	91
Tabla 17. Taxonomía de la especie <i>Cecropia peltata</i> .....	91

Tabla 18. Taxonomía de la especie <i>Fuertesimalva echinata</i> .....	92
Tabla 19. Taxonomía de la especie <i>Helianthus annuus</i> .....	92
Tabla 20. Propiedades de las tres especies hiperacumuladoras de metales pesados. ....	93
Tabla 21. Recursos Humanos.....	94
Tabla 22. Varios Recursos.....	94
Tabla 23. Tratamientos para el desarrollo de la planta.....	95
Tabla 24. Criterios de Calidad de Suelo.....	96

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo sobre el protocolo para el cultivo experimental ....	51
Figura 2. Promedio de altura final de cada tratamiento .....	59
Figura 3 Promedio final de número de hojas por cada tratamiento .....	62
Figura 4 Peso seco de hojas del girasol por cada tratamiento .....	64
Figura 5.Ubicación Geográfica del cantón Portovelo .....	83
Figura 6.Toma de muestra de suelo contaminado con mercurio .....	84
Figura 7.Muestra de suelo contaminado con mercurio .....	84
Figura 8.Resultado de análisis de muestras de suelo .....	85
Figura 9.Germinación de las semillas mediante los dos métodos .....	86
Figura 10.Sistema de riego .....	86
Figura 11.Diagrama de flujo de la metodología .....	87
Figura 12 Trasplantación del Girasol a la tierra contaminada con mercurio ....	88
Figura 13 Comparación de las plantas testigos con los tratamientos aplicados .....	88
Figura 14 Desarrollo del cultivo con los tratamientos aplicados .....	89
Figura 15 Medición de altura de cada planta por cada tratamiento .....	89
Figura 16 Peso seco de las hojas del girasol de cada tratamiento .....	90

## Resumen

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la capacidad de *Helianthus annuus* (girasol) como especie fitorremediadora, de suelos contaminados con mercurio. Se colocó en fundas para vivero, 2kg del suelo contaminado con mercurio y se adicionaron cuatro diferentes tratamientos que consistieron en humus de lombriz, abono completo, la mezcla de humus de lombriz con abono completo y un testigo absoluto (tierra sin contaminante), cada uno con seis réplicas. En la siembra del girasol se aplicó la primera dosis de los tratamientos en la siembra y luego a los 15 días. Con el tratamiento de humus de lombriz, se obtuvo la mejor respuesta de la planta a la presencia de mercurio; en los dos tratamientos restantes se observó que el tallo, hojas y flores se marchitaron de forma rápida a diferencia de las plantas testigo y el tratamiento con humus, mientras que se determinó que hubo una mínima absorción de mercurio por parte de la planta para cada tratamiento. Se concluye que con la adición de humus de lombriz es posible aumentar la tolerancia de la planta al Mercurio logrando un mejor desarrollo y tolerancia del metal pesado por el girasol.

**Palabras clave:** Abono completo, fitorremediación, girasol, humus de lombriz, Mercurio.

### **Abstract**

The present work was carried out with the objective of evaluating the capacity of the *Helianthus annuus* (sunflower), as a phytoremediate species of soils contaminated with mercury. 2kg of the mercury-contaminated soil was placed in nursery covers and four different treatments were added consisting of worm humus, complete compost, the mixture of earthworm humus and complete compost, and an absolute control (soil without contaminant), each one with six replicas. In the sunflower sowing, the first dose of the treatments was applied at sowing and then after 15 days. With the worm humus treatment, the best response of the plant to the presence of mercury was obtained; In the two remaining treatments, it was observed that the stem, leaves and flowers wilted quickly, unlike the control plants and the humus treatment, while it was determined that there was a minimum absorption of mercury by the plant for each treatment. . It is concluded that with the addition of earthworm humus it is possible to increase the tolerance of the plant to Mercury, achieving a better development and tolerance of the heavy metal by the sunflower.

Key words: Complete fertilizer, phytoremediation, sunflower, earthworm humus, Mercury.

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes del problema

Según la ONU (2018) la minería artesanal y en pequeña escala es una industria mundialmente polémica y una fuente vital de medios de subsistencia que a menudo es pasada por alto debido a proyectos a gran escala; estas minas pueden ser pequeñas, pero contribuyen de manera significativa al mercado mundial de oro y a la generación de ingresos locales. Se estima que anualmente un 15% del oro extraído alrededor del mundo proviene de las minas a pequeña escala; entre 10 y 15 millones de personas trabajan en el sector artesanal y de pequeña escala, y esto equivale al 90% de la fuerza de trabajo de la minería de oro.

Se estima que existen alrededor de 500.000 mineros artesanales en una docena de países latinoamericanos, entre ellos Ecuador, por esta razón en una publicación de Mercury Convention (s.f.) indica que de estos lugares es de donde provienen la mayor fuente de uso, emisión y liberación de mercurio; también expresan que en el 2010 estas emisiones de mercurio alcanzaron las 208 toneladas de un total de 727 a nivel mundial, es decir el 29% del mercurio liberado a la atmósfera fue por actividades mineras provenientes de países de la región.

Riofrio (2017) indica que las actividades de minería ilegal causaron un gran impacto medioambiental en el norte de la provincia de Esmeraldas, debido a la acelerada contaminación de fuentes hídricas por el uso de mercurio en el proceso de extracción.

Haciendo referencia al uso del mercurio como técnica en la separación del oro, se tiene que esta práctica es peligrosa, debido a que el mineral precioso entra en contacto con el mercurio en grandes pozos en los cuales los mineros trabajan sin el equipo de protección personal adecuado para poder extraer el oro; luego lo que

queda de mercurio se separa del oro mediante una técnica de combustión abierta en la cual se vaporiza (ONU, 2018). Esta técnica de amalgamiento con mercurio libera grandes cantidades de tóxicos al medio ambiente debido a comúnmente realizan su quema a cielo abierto; al ser una técnica poco refinada recuperan menos oro y dañan la salud del minero; esto indica que la minería artesanal y de pequeña escala es la mayor fuente de contaminación por mercurio a nivel global.

En el cantón Portovelo, ubicado al sur de Ecuador, en la provincia de El Oro; es donde se realizara el estudio ya que en esta zona desde la antigüedad se ha explotado oro, y debido a esto, las secuelas por la actividad minera son notorias en el medio ambiente y en la calidad de vida de sus habitantes; la falta de control, regulación y técnicas apropiadas para la explotación obliga a los mineros informales a trabajar en zonas de alto riesgo geodinámico, provocando deslizamientos y dejando desestabilizadas zonas aledañas (Loayza y Carrión, 2005).

Al realizar pruebas de intoxicación por Hg en la salud humana en 200 pobladores, en su mayoría mineros del sitio, reflejaron que los resultados de los exámenes fueron alarmantes debido a que el 52% de los individuos en Portovelo dieron positivo en manifestación de intoxicación por Hg, y, por otra parte, en Zaruma el 57% de individuos también dieron positivos para intoxicación por Hg (Oviedo, Moina, Naranjo, y Barcos, 2017). Así mismo los autores mencionan que en otros estudios realizados en la zona, se escogieron 229 personas de Portovelo; 69 personas de Puyando Viejo y 60 personas de Gramadal como resultado de este estudio se obtuvo niveles máximos de plomo en sangre y de mercurio en orina y sangre; estos niveles de Hg y Pb estaban por encima de los valores referentes de la normativa ambiental.

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

El problema a tratar se evidencia en el cantón Portovelo, ubicado al sur de Ecuador, en la provincia de el Oro, en el cual, según la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (NCAS) establecida en Ecuador, en los cantones Zaruma y Portovelo en las colas de cianuración y relaves de amalgación se evidenciaron altas concentraciones de metales pesados (Oviedo, Moina, Naranjo, y Barcos, 2017).

En poblaciones aledañas, como son los cantones Marcabelí, Balsas y las Cajas, se encontraron valores constantes de Hg, Pb y Mn en suelos y agua, los cuales indicaron exposición continua de estos contaminantes en pobladores y en el ambiente. Haciendo referencia a las afecciones que causan estos metales pesados en los habitantes de estos cantones, existen investigaciones en América que demuestran presencia de alteraciones subclínicas del sistema nervioso, estas son generadas por la exposición continua a los contaminantes.

Oviedo et al. (2017) realizaron una recopilación de la zona minera más antigua e importante del Ecuador desde su época precolombina hasta la actualidad, donde recolectaron datos que muestran las concentraciones de algunos metales pesados no esenciales (Hg, Pb, As, Mg, Zn, Cd), en los cantones Zaruma y Portovelo de la provincia de El Oro. Los resultados revelaron que los recorridos de los lugares afectados por estos metales van desde el nacimiento de los ríos Calera, Amarillo y Pindo, a lo largo de la cuenca, hasta llegar al río Puyango, donde se obtiene los valores más bajos de estos elementos, a excepción del Manganeso puesto a que su nivel vuelve a elevarse debido a la presencia mineralógica del bosque petrificado de Puyango.

Estudios realizados por la fundación salud, ambiente y desarrollo (FUNSAD) la cual se encarga de la aplicación del enfoque de ecosistema en América Latina para determinar los impactos de la pequeña minería en el ambiente y en la salud humana en la provincia de El Oro, indicaron que en los relaves de Vivanco, ubicado en el cantón Zaruma y Chancha Gerais ubicado en el cantón Portovelo, muestran concentraciones de niveles de plomo (1796.8-mg/kg), arsénico (396.0-8800.0 mg/kg), zinc (513.0-2670.0 mg/kg), cadmio (27.0-44.1 mg/kg), y mercurio (1.0-35.9 mg/kg); estos valores exceden el límite máximo permisible señalado en la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Oviedo et al., 2017).

Cabe mencionar que la minería y actividades asociadas generan una gran cantidad de residuos peligrosos y relaves con presencia de metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero (Papuico, 2018). La intromisión de los metales pesados disminuye la calidad de los productos generados de las actividades económicas que se desarrollen en la zona con presencia del contaminante (Castro, 2013). Debido a esto, la fitorremediación la cual consiste en la absorción y acumulación de metales por plantas hiperacumuladoras, representa una alternativa sustentable y de bajo costo la cual se puede utilizar para la recuperar de suelos contaminados por mercurio en los relaves de amalgación ubicados en el sector el Pindo.

Es conveniente recalcar que, para la fitorremediación, se empleara el girasol para fitoacumular mercurio en sus tejidos vegetales y de esta manera conocer la capacidad de absorción de esta especie. El proyecto va a depender de la tolerancia de la planta, el desarrollo en base a cada tratamiento y la acumulación del contaminante.

### 1.2.2 Formulación del problema

¿El uso del girasol (*Helianthus annuus*) servirá como fitorremediador de suelos contaminados por minería por su factibilidad económica y ambiental en Portovelo?

### 1.3 Justificación de la investigación

El girasol es una planta que no requiere abundancia de agua porque se puede producir en seco, por esta razón cuando se presentan sequías, gracias al sistema radicular profundo de la planta, puede extraer agua del suelo a profundidades que otras especies no pueden llegar; esta especie también dispone de mecanismos fisiológicos que le permiten mantener los estomas abiertos en condiciones de estrés hídrico; la planta de girasol tiene un alto nivel de tolerancia, puede seguir con el proceso de fotosíntesis y acumular materia orgánica (Hernández & Orioli, 1994).

La planta girasol puede ser cultivada en suelos con textura franco-arenosa de fertilidad media con textura arcillo-arenosa con un buen drenaje; los terrenos franco-aluviales fértiles, profundos, y que retienen agua son adecuados para el crecimiento de la especie. La especie *Helianthus annuus* es una planta reconocida como fitorremediadora, por su capacidad de absorber metales pesados en gran cantidad por lo que es considerada como planta hiperacumuladora de Cd, Pb, Zn, S, Hg y elementos radioactivos (Delgadillo et al., 2011).

Este estudio pretende evaluar la capacidad de la planta de girasol para absorber las concentraciones de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras mediante el uso de tecnología de fitorremediación; cabe resaltar que es de suma importancia para esta investigación emplear una tecnología sustentable en la cual se pueda utilizar recursos naturales, en este caso, el uso de la planta *Helianthus annuus*, con la finalidad de absorber metales pesados de los suelos y

el empleo de diferentes tratamientos orgánicos que permitirán que la planta de girasol presente mayor nivel de tolerancia al ser sembrada en suelo con presencia de contaminantes.

Este proyecto busca alternativas sustentables como la fitorremediación para la recuperación de suelo contaminado por mercurio en el cantón Portovelo, sector el Pindo, por lo cual se plantea remediar y aplicar tratamientos para mejorar los resultados en tanto a la tolerancia de la planta en sus etapas de desarrollo, y luego de ese proceso se deberá realizar un análisis para conocer si la planta absorbió parcial o totalmente el contaminante.

Cabe recalcar que se estimara la factibilidad económica y ambiental de su implementación, por esta razón se cotizara todos los valores para su aplicación a gran escala para la fitorremediación del suelo. Una vez comprobado la factibilidad del proyecto se iniciará la producción del cultivo de girasol y al finalizar el proceso de fitorremediación se procederá a realizar los análisis necesarios para verificar la recuperación del suelo para su uso en prácticas agrícolas.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Sector el Pindo, Cantón Portovelo, provincia El Oro, Ecuador (Ver anexo Tabla 16, Figura 5).
- **Tiempo:** El tiempo determinado que se desarrolló el presente trabajo fue de 4 meses.
- **Población:** 4,690 habitantes pertenecientes al área rural del cantón Portovelo, El Oro (INEC, 2010).

### **1.5 Objetivo general**

Analizar el uso del girasol como fitorremediador de suelos contaminados por minería mediante experimentos ex situ para su uso en prácticas agrícolas de Portovelo.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Realizar muestreo de suelo en el área de influencia de actividad minera en Portovelo y su respectivo análisis en un laboratorio acreditado para la determinación de presencia de mercurio.
- Establecer el cultivo de la especie *Helianthus annuus* mediante la aplicación de cuatro tratamientos para estimación de mejoras en el desarrollo del cultivo.
- Evaluar la eficiencia de los tres tratamientos de fitorremediación con nutrientes, y compararlos con las plantas testigo en suelo sin contaminantes con base en la dinámica de crecimiento mediante la observación y análisis de un laboratorio acreditado.
- Determinar la concentración de mercurio absorbido por la planta fitoextractora en cada uno de los tratamientos establecidos mediante los resultados obtenidos de los análisis en laboratorio acreditado para su posterior valoración de la efectividad del estudio.
- Estimar la factibilidad económica y ambiental del uso de la planta como fitorremediador en grandes extensiones mediante estimación de costos de producción y cierre del proyecto para considerar si es rentable el uso de la planta a gran escala.

## 1.7 Hipótesis

La especie *Helianthus annuus* en los tratamientos seleccionados se puede lograr una absorción entre un 50-60% de mercurio en 1000 gramos de suelo contaminado por la minería.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

Los autores Chauhan y Mathur (2018) hicieron una revisión sobre el potencial de la *Helianthus annuus* para la fitorremediación de múltiples contaminantes del medio ambiente, mencionaron que fitoacumulación mejorada de los quelatos como son EDDHA (ácido N,N'-etilendiamino-bis(2-hidroxifenil)acético) por el girasol, permite reducir cantidades suficientes de metales pesados de sitios contaminados, mediante la intervención microbiana; ya que los microbios en conjunto con las plantas biodegradan el metal y los hidrocarburos, lo que es de gran ayuda para mejorar la bioacumulación de contaminante.

Según los autores Gonzáles et al. (2018) los resultados finales de su proyecto mostraron que las cuatro especies de estudio (alfalfa, geranio, higuerrilla y girasol) redujeron de manera significativa el nivel de cobre disponible en el suelo; la alfalfa logró reducir el nivel de cobre de 278 mg/kg a 77mg/kg; el geranio redujo el nivel de cobre a 89mg/kg, la higuerrilla a 90mg/kg y el girasol a 119 mg/kg. También indicaron que no existe ningún efecto del cobre en la germinación de las semillas y constataron que las cuatro especies tienen capacidad fitorremediadora.

Las autoras Reategui & Reategui (2018) en su proyecto titulado "capacidad de absorción del *Helianthus annuus* en suelos agrícolas contaminados con cadmio" obtuvieron como resultado que el girasol puede participar como planta fitoestabilizadora de suelos contaminados con cadmio; por su tolerancia e hiperacumulación de estos metales en el tejido vegetal y por la alta generación de biomasa; debido a esto en el girasol se evidenció que en las raíces se acumuló un porcentaje mayor (más del 70%) del resto de las partes de la planta, seguido de las hojas (aproximadamente 15%) y finalmente el tallo (menos del 5%).

En el estudio realizado por Alaboudi, Ahmed, & Brodie (2018) se identificó la capacidad del *Helianthus annuus* para eliminar Cd y Pb del suelo contaminado. En macetas colocaron dosis de metales pesados y luego trascolocaron la planta, los resultados señalaron que el girasol tiene la capacidad de acumular estos metales pesados en sus tejidos vegetales; en los tejidos de la planta se presentó una mayor acumulación de cadmio que de plomo.

En el trabajo de Oviedo et al. (2017) recolectaron datos que muestran las concentraciones de algunos metales pesados no esenciales como mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), magnesio (Mg), zinc (Zn) y cadmio (Cd), en los cantones Zaruma y Portovelo de la provincia de El Oro. El plomo encontrado en los pescados presenta concentraciones de 0.4 a 1.3 ug/g de peso fresco, por otra parte, el consumo de productos agrícolas, como por ejemplo el café, presentaba concentraciones de 8,7 ug/g.

Es importante tener datos de lo que sucede en el país sobre la actividad minera debido a que en estos proyectos utilizaron la especie *Helianthus annuus* por su capacidad para fitoextraer y acumular metales pesados. En esta propuesta se proyecta realizar un cultivo de girasol en el suelo contaminado por metales con el fin de que la planta absorba el mercurio y luego mediante un análisis de laboratorio constatar el porcentaje de absorción existente en los tejidos vegetales de la planta.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Minería**

Según BCE (2016) la minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales; es la aplicación de la ciencia,

tecnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales.

#### **2.2.1.1 Minería artesanal**

Este tipo de minería se refiere a las actividades informales que se llevan a cabo utilizando poca tecnología y maquinaria; es practicada por un grupo de individuos o comunidades usualmente de manera ilegal y se presenta en países en vía de desarrollo, esta actividad puede ser de forma permanente o estacional. Esta actividad puede presentar inseguridad económica y un grave impacto ambiental; sin dejar de tomar en cuenta los riesgos laborales que afrontan a diario los trabajadores (Interempresas, 2017).

#### **2.2.1.2 Minería subterránea**

La minería subterránea son todas las actividades que busca extraer materias primas depositadas bajo tierra y las cuales serán transportadas hacia la superficie; en esta actividad se explotan recursos debajo de la superficie de la tierra; en caso donde la extracción de minerales a cielo abierto no es posible se recurre a las explotaciones subterráneas, esto debido a motivos ambientales o económicos (Ingexpert, 2019).

Los beneficios de la minería subterránea es que no perturban los bosques, tierras agrícolas, ríos y áreas residenciales; por otra parte, como desventaja se presenta peligros contenidos de derrumbe, gases venenosos y otras sustancias tóxicas, en esta actividad existe peligro de alguna explosión incendio o inundaciones (Ingexpert, 2019).

#### **2.2.1.3 Metales pesados por actividad minera**

Los autores Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos (2017) explican que la extracción de metales pesados, requiere el empleo de productos químicos y de grandes

cantidades de agua en los pozos de extracción, en los cuales existen sustancias ligadas al tipo de suelo o mina que se combinan con otros productos químicos, los cuales generan una gran cantidad de desechos tóxicos.

Entre los desechos tóxicos que constan de los subproductos de los procesos mineros de relaves y escombros se tiene el azufre, cadmio, plomo, arsénico, molibdeno, mercurio, cianuro libre y compuestos fenólicos 16; de esta manera se puede indicar que el suelo se contamina cuando este tipo de desechos antes mencionados se incorporan al ambiente sin tener un tratamiento adecuado (Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017).

#### *2.2.1.3.1 Cadmio*

El cadmio es un metal pesado considerado como uno de los elementos más tóxicos, se encuentra distribuido en la naturaleza, este asociado a los depósitos de zinc; la movilidad en el medio de este metal depende (Casemeiro, 2016) de varios factores como el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica y la presencia de arcillas y óxidos de hierro.

El cadmio que es emitido al medio procede por actividades industriales, minería, metalurgia, fabricación y aplicación de fertilizantes de fosfatos de la incineración de residuos urbanos. La exposición al cadmio tiene lugar principalmente a través de la dieta, y en segundo lugar por la inhalación de aerosoles de compuestos de cadmio; algunos de los efectos en la salud son daño renal, osteoporosis y cáncer (Casemeiro, 2016).

#### *2.2.1.3.2 Mercurio*

La UNEP (2008) explica que el mercurio se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra, el mercurio se adhiere al otro, formando una amalgama que facilita la separación de la roca arena u otro material,

luego se calienta amalgama que se evapore el mercurio y quede el oro; cuando se amalgama todo el mineral, aparecen altos niveles de mercurio que se propagan en el medio ambiente local y crean graves problemas de salud por exposición.

El mercurio proveniente de los entables mineros no solo afecta la zona donde es vertido, sino también las zonas aguas debajo; este vertido de mercurio llegara a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de aguas potable, donde los sistemas de captación se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos donde se presenta una mayor contaminación que en la superficie de los ríos (Díaz, 2014, pág. 953).

#### 2.2.1.3.3 Plomo

Segun la OMS (2019) el plomo es un metal toxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problema de salud pública. Las principales fuentes de contaminación debido al plomo se dan por la explotación minera, la metalurgia y actividades de fabricación y reciclaje.

#### 2.2.2 Fitorremediación

El termino fitorremediación proviene del griego de "*Phyto*" que significa planta y "*Remedium*" que significa recuperar el equilibrio. Esta técnica aprovecha la capacidad que poseen algunas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes del suelo, aire, agua o sedimentos como metales pesados, elementos radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (AGRICULTURERS, 2015).

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos

realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas; este método presenta una alternativa sustentable, de bajo costo y con alta aplicabilidad para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminación natural y antropogénica (AGRICULTURERS, 2015).

### **2.2.3 Fitoextracción**

AGRICULTURERS (2015) expresan que la fitoextracción es un método de fitorremediación que tiene como finalidad absorber contaminantes del suelo por las raíces de la planta y su transporte a la parte aérea o cualquier parte en la que pueda ser recolectable, para así eliminar los contaminantes y de esta manera iniciar la limpieza a largo plazo del suelo. La ventaja de esta técnica es que se puede repetir de forma ilimitada hasta que se consiga una concentración de contaminante en el medio aceptable dentro de los límites considerados.

### **2.2.4 Hiperacumulación**

Los autores Llugany, Toira, Poschnrieder y Barcelo (2017) indican que la hiperacumulación es la capacidad que poseen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. Estas plantas tienen desarrollado un mecanismo interno de tolerancia a la toxicidad de metales; este tipo de capacidad de las plantas permite usar esta herramienta en aplicaciones de fitorremediación.

### **2.2.5 *Cecropia peltata***

La *Cecropia peltata* es un árbol que puede lograr más de 20 metros de altura en sus zonas de origen, este tiene una corteza lisa de color gris clara con inmensas cicatrices circulares en las estipulas caídas y abundantes lenticelas. Este árbol es característico de la zona tropical y se distribuye a lo largo de México hasta América del Sur. Por otro lado, esta especie se encuentra en climas cálidos y además

en laderas montañosas, bosque nuboso o selva nublada puede crecer más de 2.000 metros. Además, esta especie es característico de la vegetación es pionera por lo que es excelente para estudios de reforestación (Vidal, 2009). Por último, ver la taxonomía y propiedades de la especie *Cecropia peltata* (Ver anexo Tabla 17,Tabla 20).

### **2.2.6 *Fuertesimalva echinata***

La especie *Fuertesimalva echinata* se encuentra distribuida en la zona altoandina desde México hasta lo largo de Sudamérica, empezando desde Venezuela hasta Chile, además, es una especie endémica en Bolivia y Perú. Por otro lado, es una planta que llega a crecer a elevadas alturas. Esta especie es fitorremediadora, es decir que puede retener en sus raíces los contaminantes, por lo que es también es considerada como una planta hiperacumuladora ya que evita que dicha contaminación se traslade a las vías aéreas (Ríos Rodríguez, 2017). A continuación, véase sus propiedades y características de la especie (VerTabla 18).

### **2.2.7 *Helianthus annuus***

El *Helianthus annuus* o planta de girasol, mientras que 3.000 años a.C. era uno de los principales productos agrícolas empleados en la alimentación por muchas comunidades americanas, tanto en España como en el resto de Europa estuvo (una vez traído por los colonizadores en el siglo XVI) más de dos siglos cultivado simplemente por su valor ornamental y fue ya en el siglo XIX cuando comenzó su verdadera explotación industrial para la obtención de su aceite destinado a la alimentación humana (Flores y Plantas, 2017).

Es una planta muy polivalente y dependiendo de tipo y subespecies puede ser cultivada tanto como planta ornamental para jardinería o como flor cortada, oleaginosa para la obtención de aceite y como forrajera para la alimentación del

ganado. A continuación, véase sus propiedades y característica taxonómica de la especie (Ver anexo Tabla 19).

### **2.2.7.1 Fenología del girasol**

Villamayor (2019) indica que la iniciación floral empieza con la emergencia de la plántula y finaliza cuando se puede diferenciar la inflorescencia; luego en esta fase se fijan las hojas que tendrá la planta, para que se desarrolle esta etapa depende de la variedad, la temperatura y el fotoperiodo, las cuales se acortan con temperaturas y radiación altas.

El autor Villamayor (2019) explica que en la floración el número de flores ya está determinado; se vuelven funcionales y alcanzan su máxima área foliar, la duración de esta fase se regula por el cultivar, la temperatura y fotoperiodo; luego aparece la inflorescencia y finaliza la floración completa; al aumentar la temperatura también aumenta el número de flores diferenciadas, pero esto ocurre en un período de tiempo corto.

En la madurez fisiológica se completa la floración y los granos alcanzan su máximo peso seco. En esta etapa se define por los cambios de color del envés del capítulo; es decir que pasa de verdoso a amarillento y de sus brácteas se tornan marrones. Los factores que intervienen durante la fase floración-madurez fisiológica son la variedad y la temperatura. Los factores como enfermedades y sequia aceleran la pérdida de hojas que trae consigo la interrupción del crecimiento de granos, acorta la duración y disminuye el peso final de los granos (Tenesaca, 2015).

### **2.2.8 Abonado**

De acuerdo a Infoagro Systems, S.L., (s.f.) debido a la elevada capacidad del sistema radicular del girasol parara extraer nutrientes, este no es muy exigente en

cuanto a abonado. La dosis de abono se ajustará en función de los elementos nutritivos del suelo y del régimen de precipitaciones y de riegos. La absorción de nutrientes se concentra en los primeros estados de desarrollo de la planta.

Es necesario tener conocimiento sobre el proceso de abono del girasol para que el proyecto funcione de una manera adecuada, se tiene que tener en cuenta los factores que influyen de manera directa en el crecimiento de la especie que será plantada con la finalidad de ajustar la dosis de abono o tratamientos que se aplicaran para el proceso.

### **2.2.9 Fertilizante**

El cultivo de girasol necesita aporte de fertilizantes para tener un eficiente incremento de la cosecha. Para conseguir un buen desarrollo y producción, y a vez buena calidad, es necesario una buena alimentación mineral de la planta por eso la razón el fertilizante a aplicar debe constar de Nitrógeno que es útil para el desarrollo vegetativo, el exceso de este elemento provocaría retraso en la maduración. El Fosforo ayuda al desarrollo de las raíces; mejora tolerancia de sequias, favorece en el cuajado de los frutos y estimula la maduración. El Potasio favorece la actividad fotosintética. El Azufre es esencial para la formación de la coenzima A. Si se aplica el fertilizante correcto y de manera eficaz el cultivo contara con un mayor desarrollo radicular y vegetativo (Tarazona, 2016).

### **2.2.10 Humus de lombriz**

Las lombrices son muy importantes en el proceso de fertilidad del suelo, el resultado de la acción de este fertilizante es una tierra grumosa y esponjosa que facilita la aireación y retención de agua. La causa principal de que en el hummus existan tantos nutrientes es debido al excremento de las lombrices, pues gracias a

eso el hummus tiene más nitrógeno asimilable, fósforo, potasio, magnesio y calcio (Planeta Huerto, s.f.).

Este fertilizante orgánico y ecológico; tiene un tamaño de partícula muy fino y rico en nutrientes, no tiene malos olores y tampoco excesos de humedad. El beneficio del hummus de lombriz es que facilita el desarrollo de la planta; es apto para la agricultura ecológica; aumenta la fertilidad y la materia orgánica del suelo y no produce toxicidad (Planeta Huerto, s.f.).

## 2.3 Marco legal

### 2.3.1 Constitución de la República del Ecuador (2008)

Sección segunda: Ambiente sano

**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 (pág. 14).

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

**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 incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan a las naturalezas, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (pág. 36).

**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 (pág. 36).

**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 (pág. 37).

### 2.3.2 Ley minera

Capítulo III: Del dominio del estado y de los derechos mineros

**Art. 17.-** Derechos mineros. - Por derechos mineros se entienden aquellos que emanan tanto de los títulos de concesiones mineras, contratos de explotación minera, licencias y permisos, como de las autorizaciones para instalar y operar plantas de beneficio, fundición y refinación, y de las licencias de comercialización (pág. 8).

Capítulo VI: De las zonas mineras especiales y actos administrativos favorables previos

**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 (pág.10).

## Título II

### De los derechos mineros

#### Capítulo I: De la prospección

**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 (pág.13).

#### Capítulo III: De las modalidades contractuales

**Art. 41.-** Contrato de Explotación Minera. - En el plazo de seis meses desde la resolución que declara el inicio de la etapa de explotación, el concesionario minero deberá suscribir con el Estado, a través del Ministerio Sectorial, un Contrato de Explotación Minera que contendrá los términos, condiciones y plazos para las etapas de construcción y montaje, extracción, transporte, y comercialización de los minerales obtenidos dentro de los límites de la concesión minera (pág.19).

**Art. 43.-** Residuos minero - metalúrgicos. - Constituyen residuos minero-metalúrgicos los desmontes, escombreras, relaves, desechos y escorias resultantes de las actividades minero-metalúrgicas. Los residuos minero-metalúrgicos 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 (pág.20).

#### Capítulo V: De la comercialización de sustancias minerales

**Art. 51.-** Duración de la licencia y renovación. - Las licencias de comercialización que se otorgan a las personas naturales o jurídicas mencionadas en el artículo anterior, tienen vigencia por períodos de tres años, son intransferibles y pueden renovarse por iguales períodos de acuerdo con lo previsto en el reglamento general de esta ley (pág.22).

**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 (pág.23).

**Art. 55.- Comercio clandestino de sustancias minerales.** - Se considerará comercio clandestino de sustancias minerales a:

- a) instituciones privadas. 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;
- b) Los productores mineros que vendan sustancias minerales metálicas a personas o entidades no autorizadas para su comercialización (pág.23).

**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 (pág.10).

### Título III: Derechos de los titulares de concesiones mineras

#### Capítulo i: de los derechos en general

**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 (pág.26).

#### Capítulo II: De la preservación del medio ambiente

**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

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 (pág.31).

**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 (pág.31).

**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 (pág.31).

**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 (pág.31).

### Capítulo III: De la gestión social y participación de la comunidad

**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 (pág.33).

#### 2.3.3 Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, uso y gestión de suelo

Que, el artículo 409 de la Constitución de la República del Ecuador determina la conservación del suelo como un tema de interés público y prioridad nacional, en especial su capa fértil y la obligación de establecer un marco normativo para su

protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión (pág.3).

#### **2.3.4 Reglamento Ambiental de actividades mineras, Ministerio Ambiente**

Que, la Constitución de la República del Ecuador, en el artículo 15 establece que "El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua";

Que, es necesario regular, en todo el territorio nacional, la gestión ambiental en las actividades mineras en todas sus fases conforme lo prescrito en la Ley de Minería vigente, con el fin de prevenir, controlar, mitigar, rehabilitar y reparar los impactos ambientales y sociales derivados de las actividades mineras en la República del Ecuador (pág. 1).

#### **2.3.5 Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y criterios de remediación para suelos contaminados**

Libro VI Anexo 2

##### **4.1.2 De las actividades que degradan la calidad del suelo**

Las organizaciones públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos (pág. 14).

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación de acuerdo a la siguiente clasificación:

##### **3.1.1.1 Investigación bibliográfica o documental**

Según Alfonso (1994) “La investigación documental es un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos entorno a un determinado tema”. Mediante esta técnica se pudo recolectar toda la información de fuentes primarias y datos a través de documentos científicos con un adecuado orden cronológico para posteriormente analizar e interpretar con la finalidad de servir como base para el desarrollo del tema propuesto y también ayudó a delimitar la problemática.

##### **3.1.1.2 Investigación experimental**

De acuerdo con Guevara et al. (2020) una investigación es experimental cuando se va a controlar uno o más variables independientes en ciertas condiciones y así mismo se observa la respuesta que se realiza en la variable dependiente para la respectiva medición de las variaciones concurrentes. En base al proyecto esta técnica se expuso la planta en un suelo contaminado por actividad minera donde se observaron las medidas en función de la altura, conteo de hojas entre otros atributos de la especie y la cantidad del contaminante absorbido.

##### **3.1.1.3 Investigación de campo y laboratorio**

En base a esta técnica, se analizaron las muestras adquiridas en el sitio de estudio, luego se aplicó el tratamiento respectivo a la especie *Helianthus annuus* en un suelo contaminado por actividad minera. Este proyecto consiste en veinticuatro muestras las cuales incluyen tres tratamientos orgánicos y las plantas

testigo en suelo sin contaminante, estas muestras se colocaron en una estructura de madera separadas una de otras y debidamente rotuladas. Cada tratamiento contiene sus respectivas réplicas, este caso consiste en 6 réplicas.

### **3.1.2 Diseño de investigación**

El diseño del proyecto es de carácter experimental; ya que se basó en investigaciones y estudios científicos de los cuales se obtuvo la información necesaria y los métodos que fueron aplicados en el proyecto, por otra parte, se realizaron análisis de las concentraciones de metales pesados del suelo contaminado y luego se procedió con el desarrollo del cultivo del girasol el cual fue sometido a diferentes tratamientos que tuvieron como objetivo absorber el contaminante del suelo (Arias, 2012).

## **3.2 Metodología**

### **3.2.1 Variables**

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

#### **3.2.1.1 Variable independiente**

- Concentración del mercurio en el suelo experimental
- Tiempo de crecimiento de la planta y exposición del mercurio
- Nutrientes: humus de lombriz y abono completo (gramos)

#### **3.2.1.2 Variable dependiente**

- Medidas de la altura de la especie de la planta (cm)
- Cantidad de hojas (unidades)
- peso seco (gramos)
- Cantidad de mercurio absorbido de la planta (mg/kg)

### 3.2.2 Tratamientos

Para la presente investigación se trabajó con cuatro tipos de tratamientos, en el primero se colocaron las plantas en el suelo sin contaminante y sin la aplicación de nutrientes, este tratamiento sirvió para comprar la dinámica de crecimiento con los otros tratamientos; el tratamiento dos consistió en humus de lombriz el cual aumenta la fertilidad y la materia orgánica del suelo y no produce toxicidad; el tratamiento tres consistió de abono completo que es un fertilizante que contiene los nutrientes necesarios y ayuda a las plantas a tener un mayor desarrollo radicular y vegetativo; el tratamiento cuatro fue la mezcla de los dos tratamientos esperando una mejor tolerancia de la planta en el suelo contaminado. Los tratamientos fueron seleccionados debido a sus propiedades y beneficios para el desarrollo y tolerancia para las plantas de esta manera se evaluó la tolerancia y crecimiento de las plantas, se utilizó el girasol como especie bioextractora y acumuladora de metales pesados; para cada tratamiento se emplearon seis réplicas.

La semilla puede ser cultivada de forma directa en tierra contaminada, porque el metal pesado no afecta su germinación, pero la retrasa, por esta razón, el proceso de germinación se realizó mediante dos métodos sin presencia de contaminante que fueron; directo en la tierra y en un frasco con algodón humedecido. En el primer método se colocaron el sustrato en la maceta, el cual debía de estar húmedo, luego se hizo un pequeño agujero con el dedo y posteriormente se agregaron la semilla, después se procedió a tapar con un poco más de tierra, para esto se debía de tener cuidado de que en la tierra no haya un exceso de humedad ya que podía provocar que la raíz no salga a buscar humedad por el exceso de esta. Este factor puede producir lentitud en el crecimiento y a hasta pudrir la semilla.

El segundo método se realizó en un frasco con algodón, en el cual se colocaron la cantidad suficiente de algodón sin aplastarlo, luego se distribuyeron las semillas con cuidado en diferentes partes del frasco sin que estas quedaran juntas o al fondo de este, posteriormente se agregó agua para humedecer el algodón evitando el exceso, el frasco se colocó cerca de lugares donde pueda captar luz solar, en este caso fue cerca de una ventana, ya que así se logró una adecuada germinación. Esto se realizó con el objetivo de observar con que método se produce una mejor germinación de la semilla.

La semilla germinada fue trasplantada en un 90% de la tierra contaminada y posteriormente situadas en fundas de vivero con un 10% de los tratamientos respectivos; en el tratamiento uno se colocó humus de lombriz, en el tratamiento dos se agregó fertilizante completo, el tratamiento tres consistió de la mezcla del humus de lombriz con el fertilizante completo; y en el cuarto tratamiento se aplicó un 0% de tierra contaminada, estas fueron las plantas testigo ya que se pretendía evaluar el crecimiento y la tolerancia de la planta en suelo sin contaminante. La variedad de tratamientos se realizó con el fin de establecer la dinámica de crecimiento de las plantas testigo y de las plantas con los tratamientos definidos (Ver anexo Tabla 23).

Las plantas una vez colocadas en la tierra contaminada junto con sus respectivos tratamientos en las fundas de viveros, se ubicaron dentro de una estructura de madera que tiene como dimensiones (1.20cm de largo x 10cm de ancho), el material que se utilizó para la construcción del vivero casero es reutilizable y amigable con el ambiente (ver anexo Figura 10). Por consiguiente, una vez sembrada la planta en la tierra contaminada con el respectivo tratamiento se procedió a medir el crecimiento de la planta semanalmente con la finalidad de

comparar el desarrollo del girasol en base a cada tratamiento; por último, para regar las plantas se implementó un sistema de riego por goteo debido a que es un método eficiente y desde el punto de vista ambiental es definido como económico, porque se desperdicia muy poca agua, esto indica que reduce su consumo recurso y por ende se paga valor reducidos por consumo.

Este sistema permitió una distribución de agua exacta por cada maceta, así mismo una menor humedad la cual fue aprovechada por el sistema radicular de la planta y así mismo beneficioso porque ayudo a que el follaje de la planta no se mojara, y por esta razón se evitaron muchas enfermedades fúngicas y ataques de plagas, lo que podría matarlas. El sistema de riego que se implementó consta de tubería con orificios colocados en lugares exactos que coincidían con cada planta, el riego era cada cuatro días a la semana.

### **3.2.3 Diseño experimental**

El diseño experimental está dado por la especie *Helianthus annuus* (variable independiente) cuyo efecto fueron sobre la capacidad de absorción del mercurio en el suelo; la efectividad de los tratamientos y el nivel de tolerancia de la planta. Así mismo, se aplicaron los 4 tratamientos los cuales constaron de 6 réplicas cada uno (Ver anexo Figura 11).

### **3.2.4 Recolección de datos**

#### **3.2.4.1 Recursos**

Se determinan los recursos humanos, bibliográficos y equipos para la ejecución del proyecto.

- **Recursos humanos**

Los recursos humanos que llevaron a cabo el estudio son: estudiantes y tutor de la Universidad Agraria del Ecuador quienes fueron asignados para cumplir con los

objetivos establecidos en la tesis y así mismo lograron a obtener los resultados esperados durante el tiempo establecido (Ver anexo Tabla 21).

- **Recursos bibliográficos**

Los recursos que se utilizaron como referencias bibliográficas son en base a los documentos científicos y académicos como documentos, libros, artículos de revistas, entre otros (Ver anexo Tabla 22).

- **Varios recursos**

Dentro de la tesis existieron varios recursos que se necesitaron para su respectivo desarrollo que se encuentran detallados en anexos (Ver anexo Tabla 22).

### **3.2.4.2 Métodos y técnicas**

#### *3.2.4.2.1 Métodos*

Los métodos planteados para este proyecto son:

- **Método deductivo**

Son procesos analíticos que presentan conceptos, definiciones, leyes o normas generales, de las cuales se extraen conclusiones o se examinan casos particulares sobre las bases de afirmación generales ya presentadas. En otras palabras, es aquel que va de lo general a lo particular (Urrutia et al., 2019).

Mediante un análisis de la capacidad de absorber contaminantes mediante la planta de girasol, se realizó la evaluación del proceso de remoción de contaminantes en suelo contaminado por actividad minera.

- **Método descriptivo**

El método descriptivo busca un conocimiento inicial de la realidad que se produce de la observación directa del investigador y del conocimiento que se obtiene mediante lectura o estudio de las informaciones aportadas por todos los

autores. Se refiere a un método cuyo objetivo es exponer con el mayor rigor metodológico. Información significativa sobre la realidad en estudios con los criterios establecidos por la academia (Abreu, 2015).

El método descriptivo mediante una planta fitorremediadora como medio para extraer o remover contaminantes del suelo permitió describir el proceso que se realizó mediante la aplicación de la especie *Helianthus annuus* para extraer mercurio durante el tiempo establecido, luego estas plantas fueron analizadas para determinar la cantidad de mercurio que absorbieron y los resultados comparados con la normativa ambiental vigente, posteriormente, se analizó la eliminación de las plantas pero en proyecto a gran escala lo cual se plantea, llevar las plantas a celdas de confinamiento, esta gestión la realiza una empresa ecuatoriana, que ofrece soluciones ambientales y de salud en cuanto a la gestión integral de residuos y desechos peligrosos especiales y no peligrosos.

#### 3.2.4.2.2 Técnicas

Las técnicas para desarrollar este proyecto son:

- Toma de muestra

Las muestras de suelo contaminado por metales pesados se obtuvieron mediante muestreo de identificación el cual consistió en investigar la presencia de contaminación de suelo a través de la obtención de muestras representativas. La profundidad del muestro fue a los 30cm con el uso de una pala plana en el área de actividad minera existente en el cantón Portovelo de la provincia de El Oro, las muestras se depositaron en baldes con tapas debidamente rotulado para su posterior traslado (Ver anexo Figura 6 y Figura 7). Posteriormente, la muestra se llevó a ser analizadas en un laboratorio acreditado, el cual es especializado para determinar la calidad del suelo y los contaminantes existente en él, de esta manera

se pudo conocer el porcentaje de concentración de mercurio en el suelo (Ver anexo Figura 8).

- Germinación de girasol

La planta de girasol se la conoce por ser una planta reconocida como fitorremediadora que puede llegar a extraer del 10 al 25% de metales pesados; Según Barbosa, et al. (s.f.) la germinación de la planta se produce en un lapso de 7 a 10 días, esta puede realizarse en una superficie con un frasco con algodón el cual debe estar humectado o cultivada en tierra sin contaminante; se debe colocar la cantidad de semillas que se emplearan para desarrollar el proyecto (Ver anexo Figura 9).

- Trasplantación del girasol al suelo contaminado

Se colocaron las plantas ya germinadas en las macetas, en los cuales se añadieron un 90% de suelo contaminado y un 10% de los tratamientos establecidos en sus respectivas fundas de cultivo. Luego fueron plantadas a una profundidad de 2.5 cm respetando el espacio de 15 cm entre cada maceta para lograr un desarrollo adecuado de cada planta.

- Sistema de riego por goteo

Se implemento un sistema de riego por goteo, ya que es un método utilizado en huertos caseros que consiste en la aplicación gota a gota, para que el agua se distribuya lenta y homogéneamente sin provocar escorrentías; esto permitió que la planta reciba la cantidad de agua necesaria y ayudo a evitar la aparición y desarrollo de enfermedades; al ser instalado el sistema se ejecutó un riego constante pero moderado, por lo que esto permitió una mayor intensidad en la etapa de crecimiento de la planta (Ver anexo Figura 10).

- Análisis de crecimiento

Se evaluó el crecimiento de la planta semanalmente, se tomaron las medidas de altura de tallo (en centímetro); número de hojas de todas las plantas de *Helianthus annuus* correspondiente a los 4 tratamientos a los 15, 30, 45 y 60 días de edad, por último, el peso seco (en gramos) fue evaluado a los 60 días.

- Análisis de partes vegetales de la planta

Se determinó la concentración de mercurio absorbido por las diferentes partes de las plantas con respecto a cada tratamiento aplicado en el proyecto; el análisis se llevó a cabo en un laboratorio acreditado, en el cual se evaluaron la cantidad de mercurio presente en la raíces y tallos de las plantas.

- Factibilidad económica y ambiental

El proyecto tiene una visión ambiental porque se basa en un proceso de fitorremediación de suelo mediante planta de Girasol y sin uso de productos químicos. Se valoraron la cantidad de semillas y nutrientes requeridos por hectárea para la siembra, luego se estimaron el costo de las semillas y los nutrientes necesarios para desarrollo de las plantas. Al ser ejecutado el proyecto a gran escala, en la culminación del proyecto las plantas contendrán significativas concentraciones de mercurio, por esta razón, se realizará la cotización por medio de una empresa ecuatoriana que ofrece soluciones ambientales y de salud, en cuanto a la gestión integral de residuos y desechos peligrosos especiales y no peligrosos, para la eliminación de estas, de tal manera, se podrá conocer el costo de producción y cierre del proyecto a gran escala para verificar si es rentable o no su aplicación.

### **3.2.5 Análisis estadístico**

Mediante la estadística descriptiva, se analizaron las variaciones de las variables mediante gráficos de barras. Se realizaron análisis de varianza individuales para las variables estudiadas (altura de tallo y número de hojas). Los datos fueron analizados a través de análisis de varianza ANOVA con la finalidad de establecer diferencias significativas en altura de tallo y número de hojas como resultado de los tratamientos. Las diferencias entre medias de los tratamientos se compararon a través del test de Tukey ( $p < 0,05$ )

## 4. Resultados

### 4.1 Realización del muestreo de suelo en el área de influencia de actividad minera en Portovelo y su respectivo análisis en un laboratorio acreditado para la determinación de presencia de mercurio.

Las muestras compuestas recolectadas fueron sometidas a un procedimiento químico el cual dio como resultado una concentración de < 0,250 mg de mercurio/kg de suelo (Ver Figura 8), el análisis fue realizado en tres muestras de 2kg de suelo para conocer la concentración de mercurio.

En la Tabla 1 se puede observar los resultados obtenidos del análisis de suelo para conocer la concentración de Mercurio presente:

**Tabla 1. Resultado de análisis de muestras para determinación de presencia de mercurio**

N.º de muestras	mg de mercurio/kg de suelo
<b>Muestra 1</b>	< 0,250
<b>Muestra 2</b>	< 0,250
<b>Muestra 3</b>	< 0,250

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

En Tabla 1 se observa que la concentración de mercurio en cada muestra posee valores iguales de mg de mercurio/kg de suelo, eso se debe a la sensibilidad máxima del equipo en el que se realizó el análisis, por esta razón, se obtiene el mismo valor en las tres muestras.

## 4.2 Establecimiento del cultivo de la especie *Helianthus annuus* mediante la aplicación de cuatro tratamientos para estimación de mejoras en el desarrollo del cultivo.

En el siguiente diagrama de flujo se establece el protocolo para el establecimiento del cultivo experimental (Ver Figura 1):

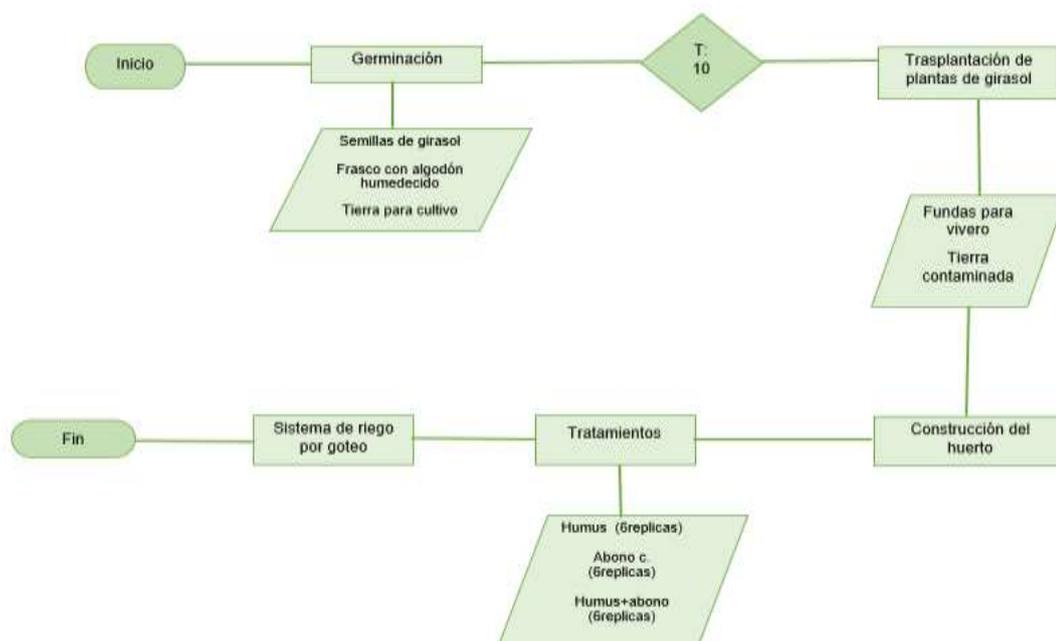


Figura 1. Diagrama de flujo sobre el protocolo para el cultivo experimental

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Para establecer el cultivo, primero se germinó la semilla de dos maneras; en tierra sin contaminante y en un frasco con algodón humedecido, este último fue la forma más rápida de germinación. Luego aproximadamente a los 10 días la planta tuvo una altura adecuada además de sus primeras hojas, estos fueron los factores necesarios para proceder a ser trasplantada a la tierra con presencia del contaminante, la cual estuvo dividida en seis replicas por cada tratamiento (Ver Figura 12). De esta manera, fueron colocados los respectivos tratamientos que consistieron en humus de lombriz, abono completo y la mezcla de los dos tratamientos antes mencionados a cada maceta.

Se procedió a construir un huerto, que consistió en una estructura de madera con medidas de 1.20 m de largo x 10 cm de ancho para colocar las fundas de vivero con cada planta de forma individual lo cual garantiza el desarrollo óptimo del girasol. Es importante mencionar que el cuarto tratamiento consiste en las 6 macetas de plantas en tierra sin contaminante con la finalidad de comparar la eficiencia de los tratamientos que poseen presencia de contaminante. También, se implementó un sistema de riego por goteo que ayudó a optimizar el uso del recurso agua en el proyecto.

#### **4.3 Evaluación de la eficiencia de los tres tratamientos de fitorremediación con nutrientes, y compararlos con las plantas testigos en suelo sin contaminantes con base en la dinámica de crecimiento mediante la observación y análisis de un laboratorio acreditado.**

Para evaluar la dinámica de crecimiento de los tratamientos se realizaron mediciones de altura (cm), conteo del número de hojas (unidades) y peso seco (gr) de los girasoles por cada tratamiento, los valores finales se pueden observar a continuación en las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

En la Tabla 2 se presentan los valores finales de las mediciones de la altura de cada réplica por tratamiento:

**Tabla 2. Altura final de las réplicas por cada tratamiento**

<b>MEDICIÓN FINAL DE LOS TRATAMIENTOS</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>N° de replicas</b>	<b>Altura de tallo (cm)</b>	<b>Promedio</b>
<b>Testigo</b>	1	85	86.83
	2	88	
	3	84	
	4	89	
	5	86	
	6	89	
<b>Humus</b>	1	89	93.66
	2	92	
	3	94	
	4	93	
	5	96	
	6	98	
<b>Abono completo</b>	1	33	34.16
	2	35	
	3	35	
	4	34	
	5	32	
	6	36	
<b>Humus+abono</b>	1	32	33.83
	2	34	
	3	33	
	4	36	
	5	33	
	6	35	

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

En Tabla 2 se puede observar que el tratamiento que presentó mejor dinámica de crecimiento fue el de humus de lombriz y el testigo, mientras que los tratamientos de abono completo y Humus+Abono no presentaron un buen desarrollo.

En la Tabla 3 se muestran los valores finales del conteo de número de hojas de cada replica por tratamiento:

**Tabla 3. Conteo final de hojas de las réplicas por cada tratamiento**

<b>MEDICIÓN FINAL DE LOS TRATAMIENTOS</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>N° de replicas</b>	<b>N° de hojas</b>	<b>Promedio</b>
<b>Testigo</b>	1	13	13.5
	2	12	
	3	16	
	4	14	
	5	13	
	6	13	
<b>Humus</b>	1	15	14.66
	2	15	
	3	16	
	4	15	
	5	15	
	6	12	
<b>Abono completo</b>	1	12	12.5
	2	15	
	3	11	
	4	15	
	5	10	
	6	12	
<b>Humus+abono</b>	1	12	11.5
	2	10	
	3	10	
	4	12	
	5	10	
	6	15	

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

La Tabla 3 indica que el tratamiento que presentó mejor promedio en el número de hojas fue el de humus de lombriz seguido del tratamiento testigo, por

otra parte, los tratamientos de abono completo y Humus+Abono no presentaron un promedio significativo.

En la Tabla 4 se exponen los valores finales del conteo de número de hojas de cada replica por tratamiento:

**Tabla 4. Peso seco final de cada tratamiento**

<b>MEDICION FINAL DE LOS TRATAMIENTOS</b>	
<b>Tratamientos</b>	<b>Peso seco (gr)</b>
<b>Testigo</b>	11
<b>Humus de lombriz</b>	12
<b>Abono completo</b>	13
<b>Humus+abono</b>	14

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

La Tabla 4 indica que los tratamientos humus de lombriz y testigo tiene similitud en sus valores, mientras que al observar los valores entre el tratamiento testigo y los tratamientos de abono y Humus+Abono se puede evidenciar que se diferencian entre sí y que mediante la aplicación de estos tratamientos se posee un mejor desarrollo en biomasa.

Para comparar el desarrollo del cultivo por tratamiento, se aplicó el método de anova y la prueba de Tukey en la cual se evaluó y comparo los resultados de las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 se logró conocer que el tratamiento de humus de lombriz tuvo mayor efectividad.

Se planteó como hipótesis nula que todos los tratamientos poseen un resultado estadísticamente similar y como hipótesis alternativa que al menos uno de los tratamientos posee un resultado estadísticamente diferente.

En la Tabla 5 se muestra el resultado del análisis de varianza de cada tratamiento:

**Tabla 5. Análisis de varianza de cada tratamiento**

<b>ANOVA</b>					
<b>Resultado</b>	<b>Suma de</b>	<b>Df</b>	<b>Media</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
	<b>cuadrados</b>		<b>cuadrática</b>		
<b>Entre grupos</b>	5987,988	3	1995,996	95,655	,000
<b>Dentro de grupos</b>	83,467	4	20,867		
<b>Total</b>	6071,455	7			

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Cómo se puede observar en la Tabla 5, el nivel de significancia es de 0 el cual representa un valor menor a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, donde, al menos un tratamiento posee un resultado estadísticamente diferente a los demás tratamientos.

En la siguiente Tabla 6 se detalla los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de Tukey para realizar la comparación entre los tratamientos testigo, humus de lombriz, abono completo y Humus+Abono.

La Tabla 6 está compuesta de los diferentes tratamientos planteados, la diferencia entre medias, el error estándar obtenido, el valor de significancia con el intervalo de confianza. Se logró determinar cuál de estos grupos posee una diferencia estadísticamente significativa tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Método de Tukey aplicado a la comparación de los diversos tratamientos**

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	HSD Tukey				
		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
<b>Testigo</b>	Humus	-5,71000	4,56800	,633	-24,3057	12,8857
	Abono completo	51,29000*	4,56800	,001	32,6943	69,8857
	Humus+Abono	52,13000*	4,56800	,001	33,5343	70,7257
<b>Humus</b>	Testigo	5,71000	4,56800	,633	-12,8857	24,3057
	Abono completo	57,00000*	4,56800	,001	38,4043	75,5957
	Humus+Abono	57,84000*	4,56800	,001	39,2443	76,4357
<b>Abono completo</b>	Testigo	-51,29000*	4,56800	,001	-69,8857	-32,6943
	Humus	-57,00000*	4,56800	,001	-75,5957	-38,4043
	Humus+Abono	,84000	4,56800	,997	-17,7557	19,4357
<b>Humus+Abono</b>	Testigo	-52,13000*	4,56800	,001	-70,7257	-33,5343
	Humus	-57,84000*	4,56800	,001	-76,4357	-39,2443
	Abono completo	-,84000	4,56800	,997	-19,4357	17,7557

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Debido a que el tratamiento testigo y el humus de lombriz poseen valor mayor de 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa, mientras que el testigo, el abono completo y el tratamiento que consiste en Humus+Abono si tienen diferencia al tener valores menores a 0.05.

Los valores reflejados en la Tabla 6 indican que el tratamiento del humus de lombriz tiene mayor efectividad a diferencia de los otros tratamientos.

La Tabla 7 representa el método de Tukey aplicado a los resultados de cada tratamiento:

**Tabla 7. Método de Tukey aplicado a resultados de cada tratamiento**  
**Tukey HSD<sup>a</sup>**

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa=0.05	
		1	2
<b>Humus+Abono</b>	2	31,3350	
<b>Abono completo</b>	2	32,1750	
<b>Testigo</b>	2		83,4650
<b>Humus</b>	2		89,1750
<b>Sig.</b>		,997	,633

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Los resultados obtenidos en el método de Tukey que se observan en la Tabla 6 y Tabla 7 manifiestan la diferencia estadísticamente significativa de los tratamientos.

Los tratamientos compuestos por el testigo y el humus al ser mayor de 0,05 no existen una diferencia estadísticamente significativa, por otro lado, entre los tratamientos testigo, el abono completo y Humus+Abono, al tener valores menores a 0.05 si presentan diferencia significativa. Por esta razón se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa es decir que si hay diferencia al menos en uno de los tratamientos planteados. En la Figura 2 se muestran los valores promedio obtenidos de la altura en centímetros de cada tratamiento:



Figura 2. Promedio de altura final de cada tratamiento  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

**Tabla 8. Análisis de varianza del conteo de hojas**  
**ANOVA**

resultados	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre de grupos</b>	10,837	3	3,612	6,972	,046
<b>Dentro de grupos</b>	2,072	4	,518		
<b>Total</b>	12,910	7			

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Cómo se puede observar en la Tabla 8 el nivel de significancia es de 0,046 el cual representa un valor menor a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, donde, al menos un tratamiento posee un resultado estadísticamente diferente a los demás tratamientos.

En la Tabla 9 se detalla los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de Tukey para realizar la comparación del número de hojas entre los tratamientos testigo, humus de lombriz, abono completo y Humus+Abono. La Tabla 9 está compuesta por el número de hojas obtenidas de los diferentes tratamientos planteados, la diferencia entre medias, el error estándar obtenido, el valor de

significancia con el intervalo de confianza, de esta manera se logró determinar cuál de estos grupos posee una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 9. Método de Tukey aplicado a la comparación del número de hojas de los diversos tratamientos**

		Tukey HSD				
(I)Tratamientos	(J)Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
<b>Testigo</b>	Humus	-1,13500	,71980	,479	-4,0652	1,7952
	Abono completo	1,00000	,71980	,565	-1,9302	3,9302
	Humus+Abono	2,00000	,71980	,153	-,9302	4,9302
<b>Humus</b>	Testigo	1,13500	,71980	,479	-1,7952	4,0652
	Abono completo	2,13500	,71980	,128	-,7952	5,0652
	Humus+Abono	3,13500*	,71980	,040	,2048	6,0652
<b>Abono completo</b>	Testigo	-1,00000	,71980	,565	-3,9302	1,9302
	Humus	-2,13500	,71980	,128	-5,0652	,7952
	Humus+Abono	1,00000	,71980	,565	-1,9302	3,9302
<b>Humus+Abono</b>	Testigo	-2,00000	,71980	,153	-4,9302	,9302
	Humus	-3,13500*	,71980	,040	-6,0652	-,2048
	Abono completo	-1,00000	,71980	,565	-3,9302	1,9302

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Debido a que el tratamiento testigo y el humus de lombriz poseen valor mayor de 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa, mientras que al comparar el tratamiento de humus con el de Humus+Abono completo tiene un valor de 0,040 esto quiere decir que existe una diferencia significativa entre estos dos tratamientos.

Los valores reflejados en la Tabla 9 indican que el tratamiento del humus de lombriz tuvo mayor efectividad en la dinámica de crecimiento de la planta a diferencia de los otros tratamientos.

**Tabla 10. Método de Tukey aplicado a resultados del conteo de hojas de cada tratamiento**

<b>Tukey HSD<sup>a</sup></b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto para alfa=0.05</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Humus+Abono</b>	2	11,0000	
<b>Abono completo</b>	2	12,0000	12,0000
<b>Testigo</b>	2	13,0000	13,0000
<b>Humus</b>	2		14,1350
<b>Sig.</b>		,153	,128

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Los resultados obtenidos en el método de Tukey que se observan en la Tabla 9 y Tabla 10 manifiestan la diferencia estadísticamente significativa de los tratamientos.

Los tratamientos compuestos por el testigo y el humus al ser mayor de 0,05 no existen una diferencia estadísticamente significativa, por otro lado, entre los tratamientos testigo, el abono completo y Humus+Abono, al tener valores menores a 0.05 si presentan diferencia significativa. Por esta razón se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa es decir que si hay diferencia al menos en uno de los tratamientos planteados.

Se puede observar en la Tabla 10 dos columnas las cuales tienen datos faltantes, esto quiere decir, que los tratamientos en los que falten datos son los que se diferencian entre sí. En la Figura 3 se muestran los valores promedio obtenidos del conteo de hojas de cada tratamiento.

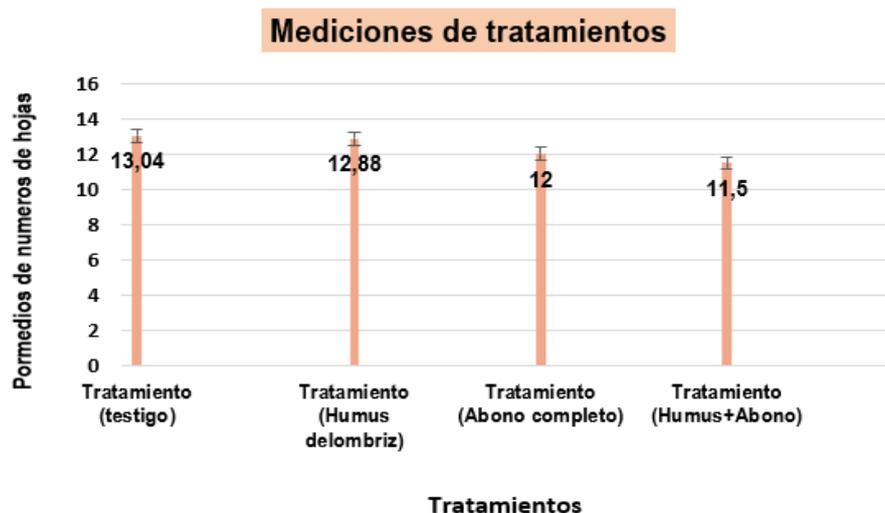


Figura 3 Promedio final de número de hojas por cada tratamiento  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

La Tabla 11 representa los valores del peso seco total (gr) de las hojas de cada tratamiento:

**Tabla 11. Análisis de varianza de peso seco de hojas**  
**ANOVA**

Resultados	Suma de cuadrados	Df	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre de grupos</b>	10,000	3	3,333	26,667	,004
<b>Dentro de grupos</b>	,500	4	,125		
<b>Total</b>	10,500	7			

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Cómo se puede observar en la Tabla 11 el nivel de significancia es de 0,004 el cual representa un valor menor a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, donde, al menos un tratamiento posee un resultado estadísticamente diferente a los demás tratamientos.

En la Tabla 12 se detalla los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de Tukey para realizar la comparación del peso seco total de la biomasa entre los tratamientos testigo, humus de lombriz, abono completo y Humus+Abono.

La Tabla 12 está compuesta por los valores del peso seco obtenidos de los diferentes tratamientos planteados, la diferencia entre medias, el error estándar obtenido, el valor de significancia con el intervalo de confianza. Mediante este método se logró determinar cuál de estos grupos posee una diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 12. Método de Tukey aplicado a la comparación de peso seco de los tratamientos aplicados**

(I)Tratamientos	(J)Tratamientos	Tukey HSD			Intervalo de confianza al 95%	
		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Límite inferior	Límite Superior
<b>Testigo</b>	Humus	-1,00000	,35355	,146	-2,4393	,4393
	Abono completo	-2,00000*	,35355	,016	-3,4393	-,5607
	Humus+Abono	-3,00000*	,35355	,004	-4,4393	-1,5607
<b>Humus</b>	Testigo	1,00000	,35355	,146	-,4393	2,4393
	Abono completo	-1,00000	,35355	,146	-2,4393	,4393
	Humus+Abono	-2,00000*	,35355	,016	-3,4393	-,5607
<b>Abono completo</b>	Testigo	2,00000*	,35355	,016	,5607	3,4393
	Humus	1,00000	,35355	,146	-,4393	2,4393
	Humus+Abono	-1,00000	,35355	,146	-2,4393	,4393
<b>Humus+Abono</b>	Testigo	3,00000*	,35355	,004	1,5607	4,4393
	Humus	2,00000*	,35355	,016	,5607	3,4393
	Abono completo	1,00000	,35355	,146	-,4393	2,4393

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

La Tabla 12 se puede observar que mediante el método de Tukey se indica que el tratamiento testigo con respecto al tratamiento de humus de lombriz mantienen un resultado similar porque el valor el cual es mayor a 0,05, mientras que el tratamiento testigo con respecto a los tratamientos presentan valores menores a 0,05 esto quiere decir que el tratamiento testigo se diferencia del tratamiento de abono completo y humus+abono.

**Tabla 13. Método de Tukey aplicado a resultados del peso seco de las hojas de cada tratamiento**

Tukey HSD <sup>a</sup>				
Tratamientos	N	Subconjunto para		
		alfa=0.05		
		1	2	3
Humus+Abono	2	10,7500		
Abono C.	2	11,7500	11,7500	
Testigo	2		12,7500	12,7500
Humus	2			13,7500
Sig.		,146	,146	,146

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

En la Tabla 13 se puede observar tres columnas las cuales tienen datos faltantes, esto quiere decir, que los tratamientos en los que falten datos son los que se diferencian entre sí. El tratamiento testigo se diferencia del tratamiento de humus+abono y del abono completo, mientras que el tratamiento de humus de lombriz tiene similitud con el testigo.

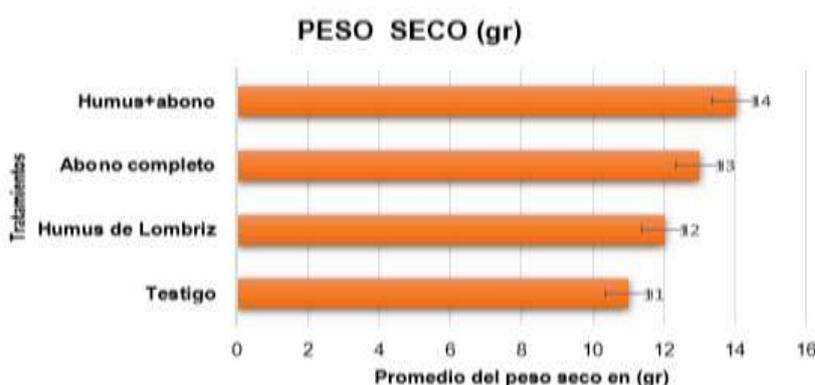


Figura 4 Peso seco de hojas del girasol por cada tratamiento

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Como se puede observar en la Figura 4, el tratamiento de humus+abono es el que mayor concentración presentó, mientras que el tratamiento testigo presenta

una menor cantidad debido a que las plantas están cultivadas en suelo sin presencia del contaminante, esto quiere decir los tratamientos de abono y humus+ abono responden al desarrollo de biomasa (Ver Figura 16).

#### **4.4 Determinación de la concentración de mercurio absorbido por la planta fitoextractora en cada uno de los tratamientos establecidos mediante los resultados obtenidos de los análisis en un laboratorio acreditado para su posterior valoración de la efectividad del estudio**

La planta en sus diferentes partes vegetales (raíz y tallo) absorbió una cantidad menor a 0.55kg/mg como se puede observar en la Tabla 14, lo cual se puede identificar como que la planta absorbió una mínima cantidad del contaminante en cada maceta de 2kg de tierra contaminada, este valor se reflejó debido a que a la sensibilidad máxima del equipo del laboratorio donde se realizó el análisis.

**Tabla 14. Resultado de análisis de concentración de mercurio en partes vegetales del girasol**

<b>Tratamientos</b>	<b>Partes vegetales</b>	<b>mg de mercurio/kg de suelo</b>
<b>Testigo</b>	Raíz	<0.55
	Tallo	<0.55
<b>Humus de lombriz</b>	Raíz	<0.55
	Tallo	<0.55
<b>Abono completo</b>	Raíz	<0.55
	Tallo	<0.55
<b>Humus+abono</b>	Raíz	<0.55
	Tallo	<0.55

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

Mediante la observación se pudo determinar que el tratamiento que manifestó mejor tolerancia al momento del crecimiento de la planta fue el del humus de

lombriz que fue el que presento mejores valores en altura del tallo de la planta en sus réplicas y que presento mejor coloración, numero de hojas y de flores, por esta razón es importante destacar que este tratamiento nos garantizó una mejor tolerancia de la planta a la presencia del mercurio (Ver Figura 13).

#### **4.5 Estimación de la factibilidad económica y ambiental del uso de la planta como fitorremediador en grandes extensiones mediante estimación de costos de producción y cierre del proyecto para considerar si es rentable el uso de la planta a gran escala**

Una vez desarrollado el proyecto a pequeña escala se realizó un estudio de factibilidad a gran escala para determinar costos y verificar si es viable o no realizar este tipo fitorremediación por lo cual se determinó que para reducir los niveles de mercurio en una hectárea contaminada se necesita 57.200 plantas de girasol y debido a que con el proyecto plantado a pequeña escala se evidencio que el tratamiento que garantizo una mejor tolerancia de la planta a la presencia de mercurio fue el humus de lombriz, por esta razón, para una hectárea se necesita 100 gramos de tratamiento por planta.

Luego de la cotización, se puede considerar su implementación debido a que es rentable económica y ambientalmente porque se utilizaran recursos ecológicos para remediar la contaminación existente en el lugar. Por esta razón se plantea remediar el área de amalgación de mercurio que se encuentra en el cantón Portovelo, primero se debe realizar un análisis para saber la cantidad de mercurio existente, luego se debe proceder a cultivar con el respectivo tratamiento, respetando los espacios, brindando los cuidados necesarios y en el tiempo necesario de desarrollo y crecimiento de la planta para que el cultivo de buenos resultados.

Por otra parte, una vez culminado el tiempo de cultivo del girasol en el cual se espera que la planta absorba parcial o totalmente el contaminante se debe realizar otro análisis para constatar que la concentración del contaminante se redujo y que esté dentro de la normativa ambiental vigente, por último se estima aprovechar la remediación de ese suelo de manera que se pueda implementar cultivos de ciclo corto para poder recuperar la inversión al realizar la fitorremediación y la eliminación de las plantas.

En la Tabla 15 se muestran los valores de ejecución y cierre del proyecto en una hectárea de tierra contaminada con mercurio para su fitorremediación mediante plantas de girasol. El tratamiento que presentó mayor eficacia en el proyecto a pequeña escala fue el humus de lombriz por esta razón fue seleccionado para su uso en prácticas agrícolas, luego las plantas contaminadas serán depositadas en celda de confinamiento por gestión de una empresa que se encarga de la eliminación de residuos peligrosos, posteriormente se plantea la implementación de cultivos de ciclo corto como la cebolla colorada para la recuperar la inversión al aplicar la fitorremediación del suelo contaminado.

**Tabla 15. Cotización de factibilidad económica y ambiental del proyecto**

<b>Recursos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costos (\$)</b>
Semillas de girasol	57.200	1.430
Humus de lombriz	1kg/m <sup>2</sup>	280
Celdas de confinamiento para las plantas contaminadas	2.283kg	2.812,66
Cultivo de cebolla colorada	1 hectárea	8.000
<b>TOTAL</b>		<b>12.522,66</b>

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

## 5. Discusión

En el área de Portovelo se han realizado estudios por Oviedo et al. (2017) donde se puede evidenciar que las actividades mineras en el suelo han causado impactos en el medio ambiente y que las concentraciones de varios metales pesados entre ellos el mercurio tiene valores entre 1.0-35.9 mg/kg. En comparación a esta investigación el nivel de contaminación del suelo nos dio como resultado que existe una concentración menor a 0,250 mg/kg; Sin embargo, los valores de los dos estudios sobrepasan el límite permisible de la calidad de suelo establecido por la normativa ambiental la cual indica que debe tener 0.1 mg/kg (ver Tabla 24).

Se seleccionó la planta *Helianthus annuus* debido a que se conoce por ser fitorremediador según Delgadillo et al. (2011) alcanzando la extracción del 10 al 25% de metales pesados; además, se seleccionó debido a que la germinación se produce en un lapso de 7 a 10 días como lo señala (Barbosa, Gualpa, Yasig, Estrella, & Sánchez, s.f.). Para el proyecto se utilizaron dos métodos de germinación, el primero consistió en las semillas germinadas en un frasco con algodón y el otro la semilla germinada en tierra fértil y luego trasplantado al suelo contaminado en un 90% y un 10% de los tratamientos establecidos debido que la planta necesita fertilizantes y abonos. Como lo indica Tarazona (2016) es necesario que cuente con una buena alimentación basada en nitrógeno, fosforo, potasio y azufre, además se utiliza el hummus de lombriz para facilitar la aireación y retención de agua y debido a que tiene más nitrógeno asimilable, fósforo, potasio, magnesio y calcio (Planeta Huerto, s.f.). Por ello, se han estructurado tres tratamientos de fitorremediación con nutrición con respecto a las plantas testigos en seis macetas cada uno, de esta manera se evaluó la dinámica de crecimiento entre tratamiento y la capacidad de absorción de estas a través de las hojas.

Mediante la dinámica de crecimiento de la planta especie *Helianthus annuus*, se verificó una variación en cada tratamiento, cada 15 días se midió altura y se contó número de hojas por cada planta, lo cual dio valores entre 30 a 90 cm de altura y, el número de hojas vario significativamente dependiendo del grupo en que se encontraba por planta (Ver Figura 15). Se observó principalmente a las hojas porque indica que absorben cerca del 15% de contaminantes como lo señalan Reategui & Reategui (2018).

Al finalizar el cultivo de las plantas ya cumplieron su ciclo de vida se observó que en el T2 fue el que tuvo mejor resultados debido a que la planta resistió más a la presencia del mercurio, el T3 fue el que no resistió debido a que las hojas de las plantas se hicieron polvo al contacto, las hojas del tratamiento mezclado entre humus y abono se marchitaron rápido debido al exceso de nutrientes, y las plantas testigo ayudaron a comparar con los otros tratamientos para el deterioro o resistencia de la planta a cada tratamiento aplicado. Se verificó que dependiendo del tratamiento cambian los resultados debido a que el humus posee nitrógeno asimilable, fósforo, potasio, magnesio y calcio que ayudan al desarrollo de la planta (Planeta Huerto, s.f.) Y se complementa con el abono debido a que según Infoagro Systems, S.L., (s.f.) de esta forma el sistema radicular del girasol pueda extraer nutrientes; además que no es muy exigente en cuanto a este procedimiento; así se pudo verificar que cuanto mejor sea el tratamiento más cantidad de contaminante absorben las plantas.

Finalmente, se observó la capacidad de la planta *Helianthus annuus* como fitorremediadora, que absorbió un aproximado de <0,55kg/mg, principalmente en raíces y tallos, verificando que la cantidad fue menor a lo esperado debido a que sólo se colocó 2Kg de suelo con contaminante en cada maceta. En comparación

con resultados obtenidos como los de Gonzáles et al (2018) que indicaron en su proyecto la utilización de cuatro especies de estudio (alfalfa, geranio, higuerrilla y girasol), estas redujeron de manera significativa el nivel de cobre disponible en el suelo; la alfalfa logró reducir el nivel de cobre de 278 mg/kg a 77mg/kg; el geranio redujo el nivel de cobre a 89mg/kg, la higuerrilla a 90mg/kg y el girasol a 119 mg/kg. También indicaron que no existe ningún efecto del cobre en la germinación de las semillas y constataron que las cuatro especies tienen capacidad fitorremediadora. Por lo tanto, se puede observar al comparar con nuestro experimento que se necesita de más tiempo de exposición para mejorar los resultados de absorción de la planta.

El proyecto si es considerado viable en base al análisis económico de los costos relacionados debido a que se utilizan materiales orgánicos y el análisis ambiental que verifica que el cultivo es capaz de actuar como fitorremediador para reducir los niveles de mercurio en una hectárea contaminada que se necesita 57.200 plantas de girasol donde se necesita 100 gramos de tratamiento por planta. Dentro de las limitaciones y debilidades del estudio se basan en que este tipo de tecnología sólo utiliza a las plantas; pero se desconoce cómo los contaminantes pueden ser dispuestos debido a que existen varios procesos de intervención como absorción, quelación, degradación y volatilización de la planta (Ortiz, Sanz , Dorado, & Villar, 2007). Existen pocos trabajos experimentales a gran escala relacionados con la fitocorrección; es así como sólo se reconocen los resultados generados en las gestiones dentro de los laboratorios o estudios a pequeña escala.

## 6. Conclusiones

Este trabajo se realiza con la finalidad de que otros investigadores puedan plantear la fitorremediación de suelos contaminados por Mercurio mediante especies vegetales, con el propósito de absorber el contaminante y a su vez reducir los niveles de metales pesados en el suelo para luego ser aprovechado en usos agrícolas.

Se puede concluir que en este proyecto debido a los resultados obtenidos el girasol (*Helianthus annuus*) no presentó eficiencia como fitorremediador de suelos con presencia de mercurio, es decir, que el girasol no presentó absorción del mercurio.

El tratamiento con humus de lombriz presentó mayor similitud al tratamiento testigo, por esta razón, se pudo determinar que aplicando humus de lombriz al cultivo se garantiza una mejor tolerancia de la planta en presencia de mercurio, y también un efecto superior en la dinámica de crecimiento.

Los tratamientos de abono completo y de Humus+Abono no presentaron dinámica de crecimiento con respecto a la altura y número de hojas, pero, se obtuvieron valores significativos en el peso seco o desarrollo en biomasa.

## 7. Recomendaciones

Como recomendación se debe escoger una planta adecuada para la fitorremediación del metal pesado a estudiar y el análisis realizarlo mediante métodos alternativos que logren captar los valores reales absorbidos por las partes vegetales de la planta.

La germinación de la semilla se la puede realizar mediante un frasco con algodón humedecido, debido a que fue el método más rápido empleado para esta propuesta. La planta debe llegar a una altura adecuada para poder ser trasplantada en el suelo contaminado.

Se debe colocar las plantas a su respectiva distancia y en un lugar con presencia de luz solar porque es necesaria para el crecimiento de la planta de girasol.

Es importante que el tratamiento aplicado se realice con la medida respectiva para evitar un exceso de nutrientes y así lograr un buen desarrollo de la planta.

Se sugiere investigar qué tipo de riego necesita la especie vegetal escogida para que puedan desarrollarse de forma óptima y porque el exceso de agua puede ser perjudicial para el desarrollo por esta razón se recomienda aplicar un sistema de riego por goteo para optimizar el uso del recurso agua.

Se pudo evidenciar en el desarrollo del proyecto que el tratamiento con humus de lombriz fue el que reflejo mejores resultados por esta razón se recomienda su aplicación en cultivos.

## 8. Bibliografía

- Abreu, J. (2015). Análisis al método de la investigación; Analysis to the Research Method. 208. Obtenido de [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A14.10\(1\)205-214.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A14.10(1)205-214.pdf)
- Acebedo, J., Armas, C., Custodio, M., García, M., Gonzáles, J., León, B., . . . Gonzáles, A. (2018). *Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre* Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; "girasol", "alfalfa", "geranio" e "higuerilla". Obtenido de <https://revista.uct.edu.pe/index.php/science/article/view/28/15>
- AGRICULTURERS. (2015). *Red de Especialistas en Agricultura*. Obtenido de La fitorremediación: Plantas para tratar la Contaminación Ambiental: <https://agriculturers.com/la-fitorremediacion-plantas-para-tratar-la-contaminacion-ambiental/>
- Alaboudi, K., Ahmed, B., & Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 123-127. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178318300174>
- Alfonso, I. (1994). *Técnicas de investigación bibliográfica*. Caracas: Contexto Ediciones.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme.
- Barbosa, A., Gualpa, W., Yasig, L., Estrella, D., & Sánchez, J. (s.f.). *Ecuador y su flora*. Obtenido de Girasoles: <https://sites.google.com/site/ecuadorysuflora/girasoles>

BCE. (2016). *Sector Minero\_Cartilla Informativa* . Obtenido de La Minería Ecuatoriana:

<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>

Bentacourt, A. (2013). *Establecimiento de un sistema de organogénesis y embriogénesis somática in vitro en Helianthus annuus L. a partir de microesquejes y cotiledones*. Recuperado el 25 de noviembre de 2020, de Google Académico:

<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/15862/1/tesis%20completa.pdf>

Box, M. (2005). *Prontuario de Agricultura. Cultivos Agrícolas*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Cano, N., Chanco, M., Jara , E., Gómez, J., Mariano, M., & Montoya, H. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies almandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Bibliografía Latinoamericana en revistas de investigación científica y social*, 21(2), 145-154. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-peruana-de-biologia/articulo/capacidad-fitorremediadora-de-cinco-especies-almandinas-de-suelos-contaminados-con-metales-pesados>

Casemeiro, M. (2016). *Ecotoxicología del Cadmio*. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>

Castro, J. (2013). *Capsicum annum L. como fitorremediador de suelos contaminados con metales pesados* . Obtenido de [https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis\\_castro\\_gomez.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castro_gomez.pdf)

- 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*, 12. Obtenido de <https://www.jbscim.com/index.php/jbsm/article/view/108/140>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Obtenido de <https://www.cosede.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf>
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597 - 612. Recuperado el 22 de 11 de 2020, de Tropical and Subtropical Agroecosystems: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Díaz, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Salud Pública*, 16(6), 953. doi:<https://doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>
- Ecoinventos. (2020). *Cómo hacer fertilizante orgánico con cáscara de plátano o banana*. Obtenido de Ecoinventos-Green Technology: <https://ecoinventos.com/fertilizante-organico-cascara-platanos/#:~:text=Fertilizante%20con%20cascara%20de%20pl%C3%A1tanos%20o%20bananas.&text=Puedes%20usarla%20como%20infusi%C3%B3n.,minutos%20y%20ponla%20a%20reposar.>
- Flores y Plantas. (2017). Helianthus annuus, el girasol. *Flores y Plantas.net*. Obtenido de <https://www.floresyplantas.net/helianthus-annuus-girasol/>

GAD Municipal de Piñas. (2016). *Datos Generales*. Obtenido de Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal de Piñas: <https://www.pinas.gob.ec/canton/2015-07-03-04-05-18>

Geodatos. (2020). *Coordenadas geográficas de Portovelo*. Obtenido de Geodatos: <https://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/portovelo#:~:text=Portovelo%20se%20encuentra%20en%20la%20latitud%20%2D3.72145%20y%20longitud%20%2D79.62187.>

Global Biodiversity Information Facility. (2019). *Fuertesimalva echinata* (C.Presl) Fryxell. *GBIF*. doi:<https://doi.org/10.15468/39omei>

Google Earth. (2020). Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/Portovelo,+El+Oro/@-3.72020335,-79.6191645,630.98761584a,5729.74117617d,35y,0h,45t,0r/data=CnwaUhJMCiUweDkwMzRhNzFhNjEzMGNIMmQ6MHg5NTM3MjhY2Q1OGMyM2FkGfNLDukBvQ3AIdWd3RAZ51PAKhFQb3J0b3ZlG8sIEVsIE9ybxgCIAEiJgokCQAFD8ja>

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. doi:[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

Hernández, L., & Orioli, G. (1994). El ideotipo del girasol (*Helianthus annuus* L.). *AgriScientia*, XI(87-98). doi:<https://doi.org/10.31047/1668.298x.v11.n0.2445>

INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de Poblacion y Vivienda en el Ecuador*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/el\\_oro.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/el_oro.pdf)

Infoagro Systems, S.L. (s.f.). *El Cultivo de Girasol*. Obtenido de <https://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/girasol2.htm>

Ingexpert. (2019). *La minería subterránea: ¿En qué consiste?* Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/?v=3fd6b696867d>

Interempresas. (2017). Minería artesanal y de pequeña escala (MAPE), infra-mundo laboral. *Canales Sectoriales*. Obtenido de [https://www.interempresas.net/Proteccion-laboral/Articulos/212825-Mineria-artesanal-y-de-pequena-escala-\(MAPE\)-infra-mundo-laboral.html](https://www.interempresas.net/Proteccion-laboral/Articulos/212825-Mineria-artesanal-y-de-pequena-escala-(MAPE)-infra-mundo-laboral.html)

Kelley, C., Baca-Spry, A., Gaither, K. K., & Cruickshank, B. J. (junio de 2000). Incorporation of Phytoremediation Strategies into the Introductory Chemistry Laboratory. *The Chemical Educator*(5), 140 - 143. Obtenido de Incorporation of Phytoremediation Strategies into the Introductory Chemistry Laboratory: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00897000383a>

LEY MINERA. (2009). *Asamblea Nacional Comisión Legislativa de Fiscalización*. Obtenido de <http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Ley-de-Mineri%CC%81a-21-mayo-2018.pdf>

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, uso y gestión de suelo. (2016). Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/08/Ley-Organica-de-Ordenamiento-Territorial-Uso-y-Gestion-de-Suelo1.pdf>

Llugany, M., Toira, R., Poschnrieder, C., & Barcelo, J. (2017). Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 124-242. Obtenido de

Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?: <file:///C:/Users/PC/Downloads/124-242-1-SM.pdf>

Loayza , G., & Carrión, P. (2005). *Desarrollo de una Metodología para la Ordenación Minero- Ambiental en el sector Zaruma- Portovelo*. Obtenido de DSpace en ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/123/1/145.pdf>

Mercury Convention. (s.f). *Minamata Convention on Mercury*. Obtenido de <https://www.mercuryconvention.org/>

Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. (2015). Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>

OMS. (2019). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Intoxicación por plomo y salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

ONU. (2018). *¿Por qué la minería artesanal es tan contaminante?* Obtenido de <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/por-que-la-mineria-artesanal-es-tan-contaminante>

Ortega, E. (mayo de 2018). *Fitorremediación para hidrocarburos con girasol*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/324888633\\_fitirremediacion\\_con\\_girasol](https://www.researchgate.net/publication/324888633_fitirremediacion_con_girasol)

Ortiz, I., Sanz , J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperacion de suelos contaminados*. Obtenido de [https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

- Oviedo, R., Moína, E., Naranjo, J., & Barcos, M. (2017). *Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera*. Obtenido de <https://www.revistabionatura.com/files/2017.02.04.5.pdf>
- Papuico, K. (2018). *Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (Senecio rudbeckiaefolius) en la relavera Quilacocha del Distrito del Simón Bolívar de Rancas*. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf>
- Planeta Huerto. (s.f.). *Qué es el humus de lombriz*. Recuperado el 25 de Octubre de 2020, de PLANETA HUERTO-CULTIVA TU VIDA: [https://www.planetahuerto.es/revista/que-es-el-humus-de-lombriz\\_00139](https://www.planetahuerto.es/revista/que-es-el-humus-de-lombriz_00139)
- Reategui, L., & Reategui, C. (2018). Capacidad de absorción del *Helianthus annuus* en suelos agrícolas contaminados con Cadmio”. *Revista de Investigaciones*. Obtenido de <http://www.revistaepgunapuno.org/index.php/investigaciones/article/view/313/129>
- Reglamento Ambiental de actividades mineras, Ministerio Ambiente. (2014). Obtenido de [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/REGLAMENTO\\_AMBIENTAL\\_DE\\_ACTIVIDADES\\_MINERAS\\_MINISTERIO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/REGLAMENTO_AMBIENTAL_DE_ACTIVIDADES_MINERAS_MINISTERIO_AMBIENTE.pdf)
- Riofrio, I. (2017). *Ríos de mercurio: la minería ilegal contamina la zona norte de Esmeraldas en Ecuador*. Obtenido de <https://es.mongabay.com/2017/03/rios-mercurio-la-mineria-ilegal-contamina-la-zona-norte-esmeraldas-ecuador/>

- Ríos Rodríguez, A. F. (2017). *Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies Lolium perenne, Pelargonium hortorum Y Fuertesimalva echinata en la reducción de la Concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga*. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12692/3591>
- Sánchez, J. (2019). *Cecropia Peltata*. Obtenido de <https://www.arbolesornamentales.es/Cecropiapeltata.htm>
- Suaña, M. (2017). *Capacidad del Girasol (Helianthus annus L.) para absorber Cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado-Puno*. Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6779/Maria\\_Elena\\_Sua%C3%B1a\\_Quispe.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6779/Maria_Elena_Sua%C3%B1a_Quispe.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tarazona, A. (2016). *Fertilización del Girasol*. Obtenido de TARAZONA: [https://www.antoniotarazona.com/6250/#:~:text=El%20potasio%20\(K\)%2C%20en,de%20400%20gramos%20por%20hect%C3%A1rea.](https://www.antoniotarazona.com/6250/#:~:text=El%20potasio%20(K)%2C%20en,de%20400%20gramos%20por%20hect%C3%A1rea.)
- Tenesaca, C. (2015). *Fenología y Profundidad Radical del cultivo del Girasol (Helianthus annuus) var. Sunbright en el sector Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10401/1/Tesis-97%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20320.pdf>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (s.f). *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>

UNEP. (2008). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.*

Obtenido de El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala: [https://ige.org/archivos/IGE/mercurio\\_en\\_la\\_Mineria\\_de\\_Au.pdf](https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf)

Urrutia, J., Salas, W., Moreno, M., Cruz, G., Sánchez, E., & Amaga, C. (2019).

Estrategias de Marketing MIX para la PYME Nutri Barf. *Dilemas Contemporáneos : Educación, Política y Valore; Toluca Tomo VI, N.º Special, (Jun 2019), 4-5.* Obtenido de <https://search.proquest.com/docview/2245651608?pq-origsite=gscholar>.

Vargas Muñoz, G. (2013). *Infkuencia de las micorrizas arbusculares en la*

*fitoextracción con el girasol en suelos contaminados por Pb Y Cd.* Obtenido de [https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis\\_vargas\\_munoz.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_vargas_munoz.pdf)

Vargas, X. (2012). *Capacidad de absorción del girasol ornamental con la adición*

*de ácidos húmicos de Leonardita.* Obtenido de Repositorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1511/CAPACIDAD%20DE%20ABSORCI%C3%93N%20DE%20PLOMO%20DEL%20GIRASOL%20ORNAMENTAL%20%28Helianthus%20annuus%20L.%29%20CON%20LA%20ADICI%C3%93N%20DE%20%C3%81CIDOS%20H%C3%9AMICOS%20DE%20Leonardita>

Vidal , J., Marrugo , J., Jaramillo, B., & Perez , L. (2010). *Remediación de suelos*

*contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata).* Obtenido de Revista Científica Ingeniería y Desarrollo,: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/870/4510>

Vidal, J. (2009). *Capacidad del Guarumo (Cecropia peltata) como planta fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio*. Recuperado el 25 de noviembre de 2020, de SEDE UNIVERSIDAD DE CARTAGENA: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/921/Proyecto%20de%20grado.pdf?sequence=1>

Villamayor, G. (2019). *Consideraciones agronómicas para el cultivo del girasol*. Obtenido de Agronews Castillo León: <https://www.agronewscastillayleon.com/consideraciones-agronomicas-para-el-cultivo-del-girasol>

## 9. Anexos

### 9.1 Anexos 1. Figuras

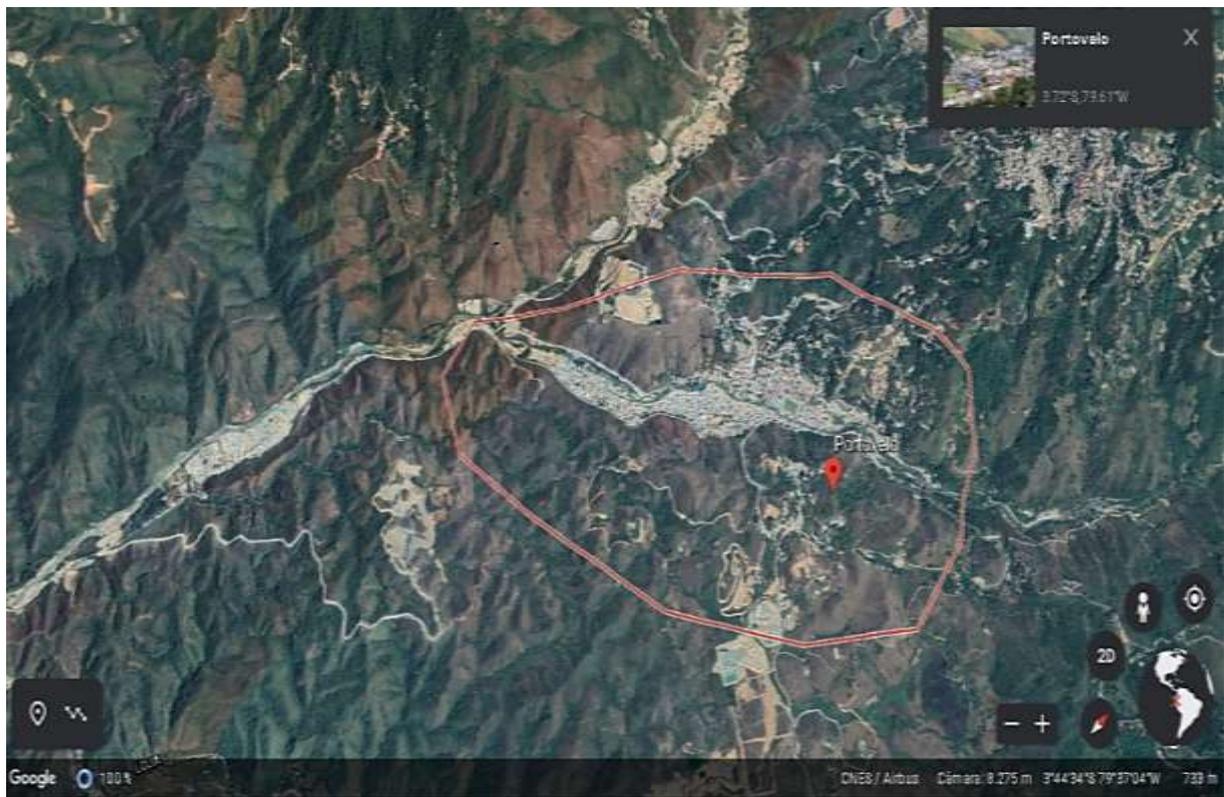


Figura 5. Ubicación Geográfica del cantón Portovelo  
Fuente: Google Earth, (2020)

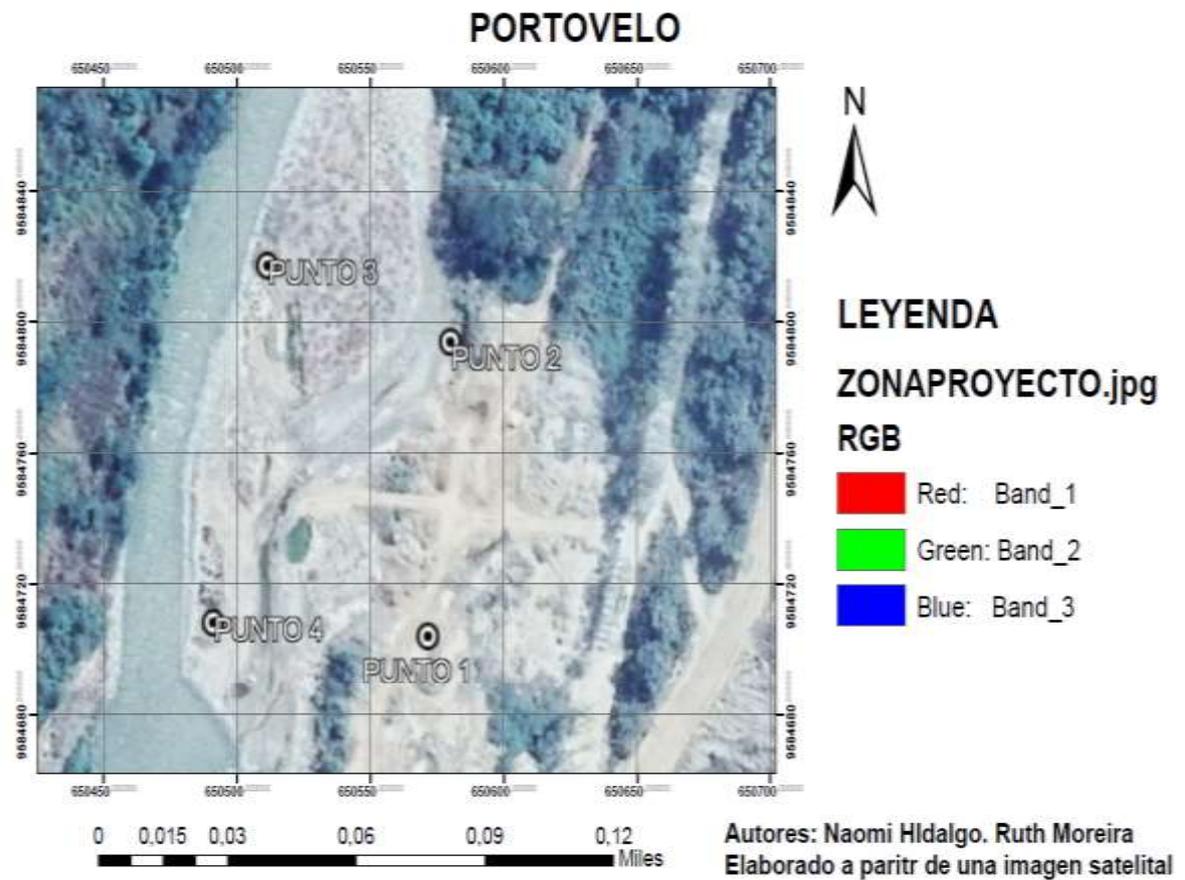


Figura 6. Toma de muestra de suelo contaminado con mercurio  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 7. Muestra de suelo contaminado con mercurio  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021


**INFORME DE ENSAYOS**
**N° 82100-1**

**8210011232020000000 Lima**
**HIDALGO JAEN NAOMI ELIZABETH**
**Representante Legal: ---**
**Dirección: Francisco de Marcos y la Octava, Tel. 0980402979**
**Atención : Ing. Naomi Hidalgo**
**Guayaquil, 2020-12-21**
**DATOS DE LA MUESTRA**

**Punto e Identificación de la Muestra:** Suelo  
**Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:** 2020/11/23 / 14:00 / Cantón PuertoVelo - sector Pindo  
**Fecha/Hora Recepción Muestras:** 2020/12/09 / 11:48  
**Matriz de la muestra:** Suelo

**METALES**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Mercurio (3)	<0,250	mg/Kg	---	PEE-GQM-FQ-54	2020/12/17 ER

**SIMBOLOGÍA:**

--- No, Aplica

&lt;LD Menor al Limite Detectable

N.E. No efectuado

S.M. Standard Methods

U K=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%

E.P.A. Environmental Protection Agency

P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM

G.R. Grados de Restricción

L.M.P. Limite Máximo Permisible

V.L.P. Valor Limite Permisible

V.M.R. Valor Máximo Referencial

C.C. Criterios de Calidad

V.M. Valor Máximo

V.M.P. Valor Máximo Permisible

**NOMENCLATURA:**

(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.

(2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM

(3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.

 (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)
**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

**DESCARGO DE RESPONSABILIDAD:**

La información del lugar de toma, punto e identificación de la muestra es proporcionada por el cliente a GQM previo a su monitoreo o recepción.

Si la muestra es entregada por el cliente, sus resultados aplican a la muestra tal como se recibió.

Figura 8. Resultado de análisis de muestras de suelo  
 Fuente: Grupo Químico Marcos, (2020)



Figura 9. Germinación de las semillas mediante los dos métodos  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 10. Sistema de riego  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

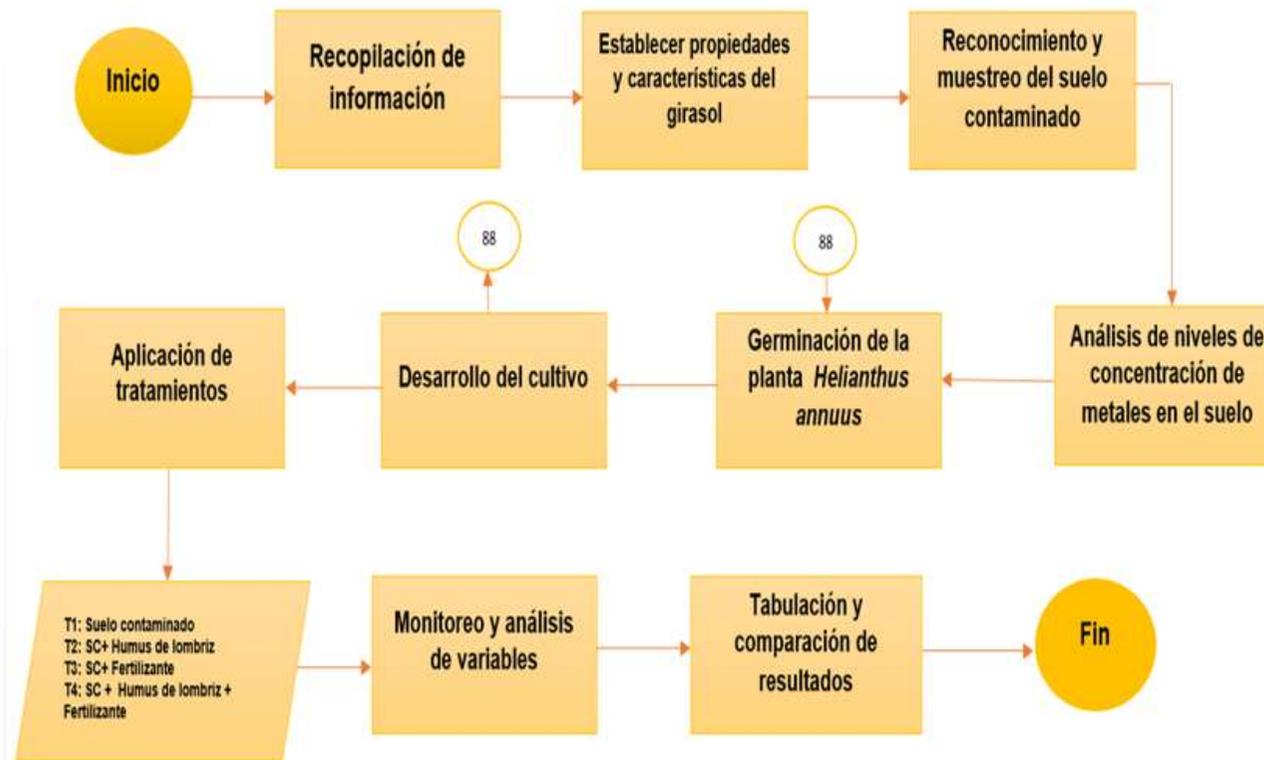


Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología  
 Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 12 Trasplante del Girasol a la tierra contaminada con mercurio  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 13 Comparación de las plantas testigos con los tratamientos aplicados  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 14 Desarrollo del cultivo con los tratamientos aplicados  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 15 Medición de altura de cada planta por cada tratamiento  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021



Figura 16 Peso seco de las hojas del girasol de cada tratamiento  
Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

## 9.2 Anexos 2. Tablas

**Tabla 16. Coordenadas geográficas del cantón**

**COORDENADAS**

Longitud	79°37.312' O / -79.62187
Latitud	3°43'17.2" S / -3.72145

Fuente: Geodatos, (2020)

**Tabla 17. Taxonomía de la especie *Cecropia peltata***

**Taxonomía**

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Urticaceae
Género	<i>Cecropia</i>
Especie	<i>C.peltata</i>

Fuente: Vidal, (2009)

**Tabla 18. Taxonomía de la especie *Fuertesimalva echinata***

<b>Taxonomía</b>	
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	<i>Fuertesimalva Fryxell</i>
Especie	<i>Fuertesimalva echinata</i> C. Presl

Fuente: Global Biodiversity Information Facility, (2019)

**Tabla 19. Taxonomía de la especie *Helianthus annuus***

<b>Taxonomía</b>	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Helianthus</i>
Especie	<i>Helianthus annuus</i> L.

Fuente: Box, (2005)

**Tabla 20. Propiedades de las tres especies hiperacumuladoras de metales pesados.**

PROPIEDADES	HELIANTHUS ANNUUS	FUERTESIMALVA ECHINATA	CECROPIA PELTATA
	Hiperacumuladora	Hiperacumuladora	Hiperacumuladora
<b>TIPO DE SUELO</b>	Crece en suelos arcillo arenosos, ricos en materia orgánica y permeables con drenaje superficial e interno	Suelos francos	Suelos pocos fértiles y que drenen bien
<b>ALTURA</b>	2 -3 m (también hay enanas de 40 cm de altura)	5 - 30 m	5 - 10m
<b>CLIMA</b>	20 - 25°C	17 - 24 °C	12 - 24 °C
<b>ABSORCIÓN</b>	41.5% de cadmio	68% de reducción de plomo	15.7% y 33.7% de reducción de mercurio
<b>GERMINACIÓN</b>	7 - 10 días	21 - 30 días	Anormal (días u años)
<b>HOJAS</b>	Alternas, gruesas de 8 o más pulgadas de largo, algo cordiformes, festonadas dentadas con 3 nervios	Alternas, de hasta 8 cm de largo, con 3 a 5 lóbulos, margen con dientes redondeados	Hojas redondas, coriáceas que miden de 30 a 40 cm de diámetro, divididas en 7 a 11 lóbulos unidos cerca de la base. Pecíolo de 30 a 50 centímetro de longitud.
<b>FLORES</b>	Tamaño de 5 a 40 cm. Tiene una flor grande rodeadas por brácteas involucrales. Flósculos radiales de color amarillo, flósculos del disco de color amarronado, tubulares, pequeños.	Cáliz de 5 sépalos triangulares unidos a su base de color lila, corola morada, de 5 pétalos que sobrepasan ligeramente al cáliz, estambres con los filamentos unidos formando tubulares. Esquizocarpo compuesto de 12 a 14 piezas mericarpios en forma de herradura que contienen una sola única semilla, el fruto está cubierto por el cáliz.	Tamaño de 3-5 cm, unidas basalmente, con un indumento de pelos aracnoides
<b>FRUTOS</b>	Cipsela larga, plana a oval, levemente angular, con pelos suaves, casi glabra, habitualmente con 2 cerdas que se marchitan en la punta.		Aquenio que mide entre 15 y 25 centímetros, contiene una única semilla en su interior.

Fuente: Llugany, Toira, Poschnrieder, & Barcelo (2017)

**Tabla 21. Recursos Humanos**

<b>Recursos Humanos</b>	<b>Meses</b>	<b>TOTAL</b>
Tutor	4	-
Hidalgo Naomi	4	-
Moreira Ruth	4	-
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>-</b>

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

**Tabla 22. Varios Recursos**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidades unitarias</b>	<b>Valor</b>	<b>Total</b>
Papelería (resmas)	1	\$2,50	\$2,50
Tintas (colores)	4	\$7,50	\$30,00
Semillas de girasol	160	\$4,00	\$4,00
Análisis de laboratorio	1	\$50,40	\$50,40
Transporte	2	\$25,00	\$50,00
Humus de lombriz	3	\$2,80	\$8,40
Fertilizante	3	\$2,65	\$7,95
Frasco de vidrio	1	\$1,50	\$1,50
Algodón	1 caja	\$1,00	\$1,00
Tierra para sembrar	2	\$1,00	\$1,00
Tablas (construcción de huerto)	6	\$4,00	\$24,00
Fundas para vivero	1	\$1,00	\$1,00
Vasos de plásticos	24	\$0,60	\$0,60
Análisis de laboratorio (partes vegetales del Girasol)	16	\$25,26	\$404,16
<b>TOTAL</b>			<b>\$586,51</b>

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

<b>Tabla 23. Tratamientos para el desarrollo de la planta</b>		
<b>Porcentaje de suelo contaminado +</b>		
<b>Tratamientos</b>	<b>Porcentaje de tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>
T1	0% Suelo contaminado	6
T2	90% Suelo contaminado + 10% Humus de lombriz	6
T3	90% Suelo contaminado + 10% Fertilizante Completo	6
T4	50% Suelo contaminado + 25% Humus de lombriz + 25% Fertilizante Completo	6
TOTAL		24

Fuente: Hidalgo y Moreira, 2021

**Tabla 24. Criterios de Calidad de Suelo**

<b>Sustancia</b>	<b>Unidades (Concentración en Peso Seco)</b>	<b>Suelo</b>
<b>Parámetros Generales</b>		
Conductividad	mmhos/cm	2
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4
<b>Parámetros Inorgánicos</b>		
Arsénico (inorgánicos)	mg/kg	5
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	30
Cromo Total	mg/kg	20
Cromo VI	mg/kg	2.5
Cianuro	mg/kg	0.25
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	2
Níquel	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60
<b>Parámetros Orgánicos</b>		
Benceno	mg/kg	0.05
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobenceno (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.1
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos Aromáticos Policíclico (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, (s.f)