



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**IMPLEMENTACIÓN DE UN HUERTO CON ESPECIES
FITORREMIADORAS CON EL PRÓPOSITO DE CONOCER SU
POTENCIAL PARA DESCONTAMINAR SUELOS AGRÍCOLAS
EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR:

BRAYAN FERNANDO CASTILLO COBA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**IMPLEMENTACIÓN DE UN HUERTO CON ESPECIES
FITORREMIADORAS CON EL PRÓPOSITO DE CONOCER SU
POTENCIAL PARA DESCONTAMINAR SUELOS AGRÍCOLAS
EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR: BRAYAN FERNANDO CASTILLO COBA

DIRECTOR: ING. EDMUNDO DANILO GUILCAPI PACHECO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Brayan Fernando Castillo Cobra**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Brayan Fernando Castillo Cobra, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de noviembre del 2023



Brayan Fernando Castillo Cobra

0605626340

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de investigación, **IMPLEMENTACIÓN DE UN HUERTO CON ESPECIES FITORREMIADORAS CON EL PRÓPOSITO DE CONOCER SU POTENCIAL PARA DESCONTAMINAR SUELOS AGRÍCOLAS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI**, realizado por el señor: **BRAYAN FERNANDO CASTILLO COBA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		01-10-2023
Ing. Edmundo Danilo Guilcapi Pacheco DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		01-10-2023
Ing. Juan Carlos Carrasco Baquero ASESOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		01-10-2023

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a Dios, por brindarme la fortaleza necesaria para cumplir mis metas y no rendirme en el proceso, a mis padres, porque ellos estuvieron a mi lado brindándome el apoyo incondicional en los malos y buenos momentos a su vez compartiéndome sus anécdotas estudiantiles con sus debidos consejos para ser mejor persona, a mi hermana por sus palabras de apoyo y compañía, a mis mascotas por ofrecerme ese amor ingenuo, inocente para poder levantarme en los momentos duros, a mi pareja que siempre estuvo conmigo en cualquier lugar y tiempo, apoyándome en los momentos difíciles y forjándome en carácter para poder salir adelante, y a sus mascotas que a pesar de ser ajenos me brindaron su amor inocente e incondicional.

Brayan

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme abierto sus puertas para poder formarme en ella científicamente, experimentalmente y teóricamente, gracias a todas las personas que fueron participantes de este proceso de forma indirecta y directa, gracias a todos los ingenieros de la carrera de Recursos Naturales Renovables que me forjaron con grandes conocimientos, experiencias educativas y profesionales para poder culminar este proceso de mi vida estudiantil, gracias a mis padres que fueron mis mayores promotores incondicionales de este proceso, gracias a Dios que fue el principal apoyo moral y motivador para cada día para no rendirme ante cualquier adversidad.

Brayan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. Problema de investigación	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 <i>General</i>	2
1.2.2 <i>Específicos</i>	3
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis o pregunta de investigación	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Fitorremediación	5
2.1.1 <i>Clasificación de las técnicas de fitorremediación</i>	5
2.1.2 <i>Fitoextracción</i>	5
2.1.3 <i>Fitoimmobilización</i>	5
2.1.4 <i>Fitovolatilización</i>	5
2.1.5 <i>Rizofiltración</i>	5
2.1.6 <i>Fitoestabilización</i>	6
2.1.7 <i>Fitodegradación</i>	6

2.1.8	<i>Fitorrestauración</i>	6
2.1.9	<i>Acumulación de metales pesados en las plantas</i>	6
2.1.10	<i>Ventajas y desventajas de la fitorremediación</i>	7
2.1.11	<i>Factores que afectan la fitorremediación</i>	7
2.1.12	<i>Disposición de la biomasa</i>	8
2.2	Especies vegetales fitorremediadoras	8
2.2.1	<i>Rábano</i>	8
2.2.2	<i>Ortiga</i>	9
2.2.3	<i>Cilantro</i>	10
2.3	Suelos	11
2.3.1	<i>El suelo</i>	11
2.3.2	<i>Manejo del suelo</i>	11
2.3.3	<i>Importancia de los suelos agrícolas</i>	11
2.3.4	<i>Factores de formación del suelo</i>	11
2.3.5	<i>Perfil del suelo</i>	12
2.3.6	<i>Color del suelo</i>	12
2.3.7	<i>El pH del suelo</i>	12
2.3.8	<i>Clasificación de los suelos</i>	12
2.3.9	<i>SUCS o USCS</i>	12
2.3.10	<i>Sistema de clasificación AASHTO</i>	13
2.3.11	<i>Criterios para considerar un suelo como contaminado</i>	13
2.3.12	<i>Grados de contaminación</i>	13
2.3.13	<i>Suelo Industrial</i>	14
2.4	Metales pesados en el suelo	14
2.4.1	<i>Plomo en suelo</i>	14
2.4.2	<i>Cadmio en el suelo</i>	14
2.4.3	<i>Manganeso en el suelo</i>	15
2.4.4	<i>Zinc en el suelo</i>	15
2.4.5	<i>Cromo en el suelo</i>	15

2.4.6	<i>Cobre en el suelo</i>	15
2.4.7	<i>Hierro en el suelo</i>	15
2.4.8	<i>Mercurio en el suelo</i>	16
2.4.9	<i>Arsénico en el suelo</i>	16
2.4.10	<i>Cobalto en el suelo</i>	16
2.4.11	<i>Vanadio en el suelo</i>	16
2.4.12	<i>Plata en el suelo</i>	16
2.4.13	<i>Níquel en el suelo</i>	16
2.4.14	<i>Calcio en el suelo</i>	17
2.5	Conservación de los suelos	17
2.5.1	<i>Enmiendas orgánicas</i>	17
2.5.2	<i>Abonos verdes</i>	17
2.5.3	<i>Lodos de depuración</i>	18
2.5.4	<i>Biochar</i>	18
2.5.5	<i>Adiciones de estiércol</i>	18
2.5.6	<i>Vermicompost</i>	18
2.5.7	<i>Microorganismos eficientes</i>	18
2.6	El huerto	19
2.6.1	<i>Huerto directo en el suelo</i>	19
2.6.2	<i>Huerto en contenedores</i>	19
2.6.3	<i>En la pared o vertical</i>	19
2.6.4	<i>En el aire o colgante</i>	19
2.6.5	<i>En agua</i>	20
2.6.6	<i>Huerto familiar</i>	20
2.6.7	<i>Huerto Urbano</i>	20
2.6.8	<i>Huerto escolar</i>	20
2.6.9	<i>Beneficios de los huertos</i>	20

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	Ubicación política y geográfica del área de estudio.....	22
3.2	Tipo de investigación.....	23
3.3	Para el objetivo 1: Revisar bibliográficamente las especies fitorremediadoras	23
3.4	Para el objetivo 2: Diseñar un huerto con especies fitorremediadoras	23
3.5	Para el objetivo 3: Determinar las especies con el potencial para descontaminar suelos agrícolas	26

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	28
4.1	Especies fitorremediadoras revisadas bibliográficamente	28
4.2	Especies fitorremediadoras con sus capacidades descontaminantes	30
4.3	Huerto con especies fitorremediadoras	33
4.3.1	<i>Medición del terreno dentro del área de estudio</i>	33
4.3.2	<i>Diseño del huerto dentro del área de estudio</i>	34
4.3.3	<i>Diseño de los lechos para el área de estudio</i>	35
4.3.4	<i>Distribución de los tratamientos en cada lecho para el área de estudio</i>	35
4.4	Especies con potencial descontaminante	36
4.4.1	<i>Porcentaje de germinación de las especies fitorremediadoras en el suelo de hidrocarburos</i>	36
4.4.2	<i>Altura de los tratamientos durante 3 meses en el suelo contaminado por hidrocarburos</i>	37
4.5	Análisis químicos iniciales de los suelos obtenidos	39
4.6	Caracterización química inicial y final del suelo de hidrocarburos con sus tratamientos	40
4.7	Comparaciones estadísticas descriptivas de cada tratamiento con sus parámetros	42

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	¡Error! Marcador no definido.
5.1	Conclusiones	¡Error! Marcador no definido.
5.2	Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Taxonomía del rábano	9
Tabla 2-2: Taxonomía de la ortiga.....	9
Tabla 3-2: Taxonomía del cilantro.....	10
Tabla 4-3: Ensayos de estudio de los tratamientos	27
Tabla 5-4: Lista de las especies vegetales fitorremediadoras	28
Tabla 6-4: Capacidad descontaminante de las especies vegetales	30
Tabla 7-4: Altura y adaptabilidad de los tratamientos en un suelo con hidrocarburos	37
Tabla 8-4: Análisis químico inicial de los suelos obtenidos	39
Tabla 9-4: Caracterización química inicial y final del suelo de hidrocarburo con sus tratamientos	40
Tabla 10-4: Estadísticas descriptivas del pH mediante Kruskal-Wallis	42
Tabla 11-4: Estadísticas descriptivas de la C.E mediante Kruskal-Wallis	42
Tabla 12-4: Estadísticas descriptivas del níquel mediante Kruskal-Wallis	43
Tabla 13-4: Estadísticas descriptivas del cromo mediante Kruskal-Wallis	43
Tabla 14-4: Estadísticas descriptivas del cadmio mediante Kruskal-Wallis.....	44
Tabla 15-4: Estadísticas descriptivas del vanadio mediante Kruskal-Wallis.....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3: Ubicación general del área de estudio	22
Ilustración 2-3: Ubicación del área de estudio	23
Ilustración 3-3: Área de estudio adecuada para los tratamientos con sus lechos	24
Ilustración 4-3: Diseño e implementación de las especies vegetales en el área de estudio.....	25
Ilustración 5-3: Bosquejo de los lechos con las especies vegetales fitorremediadoras	25
Ilustración 6-3: Distribución de los tratamientos en cada lecho.....	26
Ilustración 7-4: Porcentaje total del estado de las especies fitorremediadoras.....	29
Ilustración 8-4: Cantidad de especies vegetales capaces de absorber diferentes tipos de metales pesados.....	32
Ilustración 9-4: Área de estudio adecuada para los tratamientos con sus lechos	33
Ilustración 10-4: Diseño e implementación de las especies vegetales en el área de estudio.....	34
Ilustración 11-4: Bosquejo de los lechos con las especies vegetales fitorremediadoras	35
Ilustración 12-4: Distribución de los tratamientos en cada lecho según el diseño	36
Ilustración 13-4: Promedio de germinación de las especies vegetales en el suelo de hidrocarburos.....	37
Ilustración 14-4: Altura y crecimiento de los tratamientos en el suelo con hidrocarburos	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO B: CONSTRUCCIÓN DE LAS CAMAS

ANEXO C: OBTENCIÓN DE LOS SUELOS PARA EL ESTUDIO

ANEXO D: COLOCACIÓN DE LAS CAMAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

ANEXO E: OBTENCIÓN DE LOS SUELOS PARA LOS ANALISIS INICIALES

ANEXO F: SIEMBRA DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMEIADORAS

ANEXO G: SIEMBRA DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMEIADORAS EN EL
HUERTO

ANEXO H: BROTES DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMEIADORAS

ANEXO I: ANALISIS FINALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO CONTAMINADO

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental Tunshi (ESPOCH), parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, el objetivo de esta investigación fue implementar un huerto con especies fitorremediadoras para conocer su potencial descontaminante en suelos agrícolas, la metodología que se utilizó es de tipo cuantitativo con un alcance correlacional, para ello se realizó el método analítico y de síntesis, donde se apoyó en diversos instrumentos como la revisión bibliográfica de las especies vegetales fitorremediadoras de artículos científicos, proyectos de grado, y revistas científicas, así mismo, se diseñó un huerto con especies fitorremediadoras con el programa Garden Planner, donde se evaluó el potencial descontaminantes de las especies fitorremediadoras; se determinó el uso de 27 especies fitorremediadoras de las cuales el 59% son introducidas y cultivadas, el 22% son especies introducidas pero no cultivadas, el 11% son cultivadas y el 4% de las especies totales son nativas y endémicas, para el diseño del huerto, se adecuó el área de estudio para asegurar un espacio óptimo y funcional, estas medidas incluyeron la evaluación de la topografía del terreno, la temperatura y las precipitaciones, por consiguiente, entre el *Raphanus sativus* L, la *Urtica urens* L, y el *Coriandrum sativum* L, el más eficiente en descontaminación fue el *Raphanus sativus* L, ya que las concentraciones iniciales de níquel en el suelo contaminado fueron de 120 ppm, cromo de 91 ppm, cadmio 10 ppm y vanadio 130,5 ppm superaban los criterios de contaminación establecidos por el TULSMA, los números registrados después del proceso de fitorremediación con *Raphanus sativus* L, presentaron valores de 119,33 ppm de níquel, 90 ppm de cromo, 9,55 ppm de cadmio y 130,1 ppm de vanadio, en este contexto se concluye que el , *Raphanus sativus* L, puede reducir significativamente los niveles de contaminantes en el suelo en el ámbito ambiental.

Palabras clave: <FITORREMEDIACIÓN>, <HIDROCARBUROS >, <CONTAMINACIÓN>, <METALES PESADOS>, <HUERTO FITORREMEDIADOR>.



SUMMARY / ABSTRACT

The present research was carried out at Tunshi Experimental Station (ESPOCH), Licto parish, Riobamba canton, Chimborazo province; the objective of this research was to implement an orchard with phytoremediation species to know its decontaminating potential in agricultural soils, the methodology that was used is quantitative with a correlational scope, for this, the analytical and synthesis method was carried out, which relied on various instruments such as the bibliographic review of phytoremediating plant species of scientific articles, degree projects, and scientific journals, likewise, an orchard with phytoremediation species was designed with the Garden Planner program, where the decontaminating potential of the phytoremediation species was evaluated; the use of 27 phytoremediation species was determined, of which 59% are introduced and cultivated, 22% are introduced but not cultivated species, 11% are cultivated and 4% of the total species are native and endemic, for the design of the orchard, the study area was adapted to ensure an optimal and functional space, these measures included the evaluation of the topography of the land, temperature and precipitation, therefore, between the *Raphanus sativus* L, the *Urtica urens* L, and the *Coriandrum sativum* L, the most efficient in decontamination was *Raphanus sativus* L, since the initial concentrations of nickel in the contaminated soil were 120 ppm, chromium of 91 ppm, cadmium 10 ppm and vanadium 130.5 ppm exceeded the contamination criteria, established by TULSMA, the numbers recorded after the phytoremediation process with *Raphanus sativus* L, presented values of 119.33 ppm of nickel, 90 ppm of chromium, 9.55 ppm of cadmium and 130.1 ppm of vanadium, in this context, it is concluded that *Raphanus sativus* L, can significantly reduce the levels of contaminants in the soil in the environmental field.

Keywords: <PHYTOREMEDIATION>, <HYDROCARBONS>, <POLLUTION>, <HEAVY METALS>, <PHYTOREMEDIATION GARDEN>.



INTRODUCCIÓN

La fitorremediación tiene como referencia una cadena de tecnologías importantes a nivel mundial en el uso de especies vegetales, para descontaminar o restaurar ecosistemas contaminados como el suelo, el agua, incluyendo el aire, de manera más concisa la fitorremediación se define en el uso de las especies vegetales de manera sustentable para reducir la contaminación orgánica e inorgánica, gracias a los procesos bioquímicos realizados por las especies vegetales y microorganismos (López et al., 2004).

Los contaminantes más comunes en el suelo y en el agua son los metales pesados ya que tienen un impacto relacionado con las actividades geológicas debido a las descargas de los residuos industriales de todo el mundo (Gómez, 2020), los compartimientos ambientales dependen de la concentración y movilidad en diferentes medios ambientales donde posee un mayor riesgo relacionado con las características fisicoquímicas que posee el suelo, como el pH y la textura que proveen condiciones favorables en su dispersión.

En pocos años, se ha desarrollado algunos estudios modernos en el Ecuador para eliminar los metales pesados o tóxicos presentes en el agua y suelo, una de las más destacadas está la fitorremediación como una solución a futuro, puesto que es una técnica moderna e innovadora para el tratamiento de los residuos tóxicos orgánicos e inorgánicos, hoy en día se han utilizado varios reguladores de crecimiento y desarrollo en las especies vegetales para la fitorremediación como las citoquininas y auxinas para reducir la contaminación por metales pesados (Gonzales et al., 2018).

Las especies vegetales fitorremediadoras en la provincia de Chimborazo pueden limitar la absorción de los metales pesados hacia las hojas acumulando activamente en su biomasa, al ser una tecnología moderna e innovadora aún se tiene poco conocimiento e información de como descontaminar los suelos agrícolas de toda la provincia (Gonzales et al., 2014), algunas especies modifican las condiciones de la rizosfera alterando su pH debido a la acumulación de los metales pesados.

A pesar de la falta de conocimiento e información sobre la descontaminación de los suelos de la provincia de Chimborazo con especies fitorremediadoras, los cantones y parroquias han efectuado técnicas sencillas (Altamirano et al., 2020), para el manejo sustentable del suelo como los huertos familiares o rurales, puesto que estos contribuyen a la seguridad alimenticia, medicinal, y cultural (Bueno, 2015).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación de los suelos por hidrocarburos está ampliamente distribuida por todo el mundo y en el Ecuador no es la excepción, la industria petrolera y petroquímica es el principal motor en la producción de hidrocarburos y sus derivados para satisfacer las necesidades energéticas de combustibles y lubricantes para la industria y el transporte, se ha descrito un problema ambiental a gran escala, como la degradación del suelo debido a la contaminación por metales pesados, debido al problema establecido se dispone de nuevas herramientas de fitorremediación para recuperar suelos contaminados (Contreras, 2014).

Los hidrocarburos pueden desencadenar una serie de consecuencias perjudiciales para los ecosistemas y la salud humana, a medida que los compuestos de hidrocarburos penetran en los estratos del suelo, estos pueden afectar la calidad del sustrato que sustenta la vida vegetal y microbiana, y a su vez puede perturbar el equilibrio biológico del suelo, comprometiendo su capacidad para desempeñar funciones esenciales como la descomposición de materia orgánica, la retención de agua y nutrientes, y la regulación de los ciclos biogeoquímicos (Flores, 2017).

Esto puede tener un impacto serio en el pH del suelo y afectar negativamente el crecimiento de las plantas por el uso excesivo de los aceites y derivados del petróleo, entre los principales problemas durante el derrame de los hidrocarburos en el Ecuador tenemos la pérdida de nutrientes en el medio edáfico, y la ausencia de la microfauna, por eso es evidente que en las prácticas agrícolas no sostenibles están en crecimiento privando la salud del suelo agrícola (Velasquez, 2021).

1.2 Objetivos

1.2.1 *General*

- Implementar un huerto con especies fitorremediadoras para conocer su potencial descontaminante en suelos.

1.2.2 Específicos

- Revisar bibliográficamente las especies fitorremediadoras.
- Diseñar un huerto con especies fitorremediadoras.
- Determinar las especies con el potencial para descontaminar suelos.

1.3 Justificación

En el Ecuador diversas industrias han ido en crecimiento, generando contaminación de metales pesados en el suelo y en el ambiente que nos rodea, varios de estos metales han ido degradando el suelo poco a poco provocando una infertilidad grave e impidiendo la formación y crecimiento de especies vegetales, por ende, se debe investigar y desarrollar varias alternativas fitorremediadoras que se apliquen en suelos contaminados, ofreciendo un aprovechamiento descontaminante en su utilización. (Velasguí, 2016).

Según (Delgadillo et al., 2010), las especies vegetales juegan un papel esencial en la fitorremediación ya que pueden absorber metales pesados, hidrocarburos y otros contaminantes presentes en el suelo a través de sus raíces, y estos pueden acumularse en los tejidos de las plantas, disminuyendo así su concentración en el medio ambiente, esta técnica se conoce como fitoextracción y es especialmente útil para la remoción de metales pesados del suelo.

Según (Silva, 2022), en la estación experimental Tunshi, los estudiantes y docentes usan el suelo con fines de estudio e investigación, en las cuales no todos son realizados de la manera adecuada ya que en algunos casos se utilizan técnicas antropogénicas afectando la calidad ambiental especialmente la del suelo.

Por esta razón se desea conocer el potencial descontaminante que poseen las especies vegetales (fitorremediadoras) que serán implementadas en un suelo contaminado con varios metales pesados como níquel, cromo, cadmio y vanadio huerto ubicado en la estación experimental Tunshi, ya que la fitorremediación es eco amigable con el medio ambiente y no posee impactos negativos en la calidad y estructura del suelo (Hernández et al., 2022).

1.4 Hipótesis o pregunta de investigación

- Las especies fitorremediadoras si tienen el potencial para descontaminar suelos contaminados por metales pesados.

- Las especies fitorremediadoras no tienen el potencial para descontaminar suelos contaminados por metales pesados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fitorremediación

La fitorremediación también conocida como fitolimpieza o fitocorrección incluye cualquier proceso biológico, físico y químico, provocado por las especies vegetales que ayudan en la absorción, degradación y metabolización de los contaminantes de forma natural, ya sea por las plantas o por los microorganismos que crecen y se desarrollan en la rizosfera (Zulma, 2018).

2.1.1 Clasificación de las técnicas de fitorremediación

Según (Noelia, 2019), indica las siguientes técnicas que desarrolla la fitorremediación:

2.1.2 Fitoextracción

Esta técnica implica en la captación de metales pesados desde las raíces hasta las partes superiores de las plantas, y algunas de estas variedades vegetales, que pueden ser de origen silvestre, desempeñan un papel crucial en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (López, 2004).

2.1.3 Fitoimmobilización

Considera como una técnica de contención que consiste en el uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo ya sea por metales pesados o sustancias químicas, se considera técnicas de contención (Delgadillo, 2011).

2.1.4 Fitovolatilización

Establece el uso de plantas para eliminar contaminantes pesados del medio ambiente mediante la volatilización eliminando contaminantes del aire (Peña, 2013).

2.1.5 Rizofiltración

El uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos contaminados (López, 2004).

2.1.6 Fitoestabilización

Se basa en el uso de plantas tolerantes a metales pesados para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces, disminuyendo la movilidad y biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos en suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la fitoextracción (Peña, 2013).

2.1.7 Fitodegradación

Consiste en la degradación de contaminantes orgánicos gracias a las enzimas de las plantas o por la acción de microorganismos rizosféricos (Delgadillo, 2011).

2.1.8 Fitorrestauración

Se basa en la reforestación de áreas contaminadas con especies resistentes y de rápido crecimiento, las que previenen la migración de partículas contaminantes y la erosión de los suelos. (Gonzales, 2019).

2.1.9 Acumulación de metales pesados en las plantas

Varias especies vegetales toleran las elevadas concentraciones de metales pesados en el suelo por sustancias químicas, estas plantas restringen su absorción o translocación hacia las hojas y acumulan sus contaminantes en su biomasa aérea (Ashraf, et al., 2019).

Existen 3 estrategias básicas que poseen las especies vegetales para crecer en suelos contaminados, la primera estrategia presenta es la exclusión de metales pesados, previniendo el ingreso de contaminantes tóxicos, manteniendo baja la concentración de metales en el suelo, principalmente los elementos contaminados que se acumulan en las raíces (Prieto Méndez et al., 2009).

La segunda estrategia hace referencia al indicador de metales contaminantes que poseen las especies vegetales al absorber dichos edificadores, estos se acumulan en los tejidos aéreos reflejando el nivel de toxicidad que poseen los metales pesados en el suelo (Gonzales, 2019), como última estrategia esta presenta las plantas acumuladoras, las cuales pueden concentrar o acumular los metales contaminados en sus partes aéreas, reflejando el nivel de toxicidad que presenta el suelo de la zona manifestada.

2.1.10 Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Según (Laghlimi et al, 2015), señala varias ventajas y desventajas de la fitorremediación

2.1.10.1 Ventajas

Es una técnica de bajo costo, moderna y es más rentable para ser desarrollada, Según Shah V y otros, el costo de la fitorremediación puede ser aproximadamente entre \$10/m³ a \$440/m³ siendo más factible que otras tecnologías de remediación como la solidificación, extracción, remediación exsitu, biopila, biorremediación y el lavado de suelo, la biomasa de las especies vegetales posteriormente de la fitoextracción en algunos casos se puede utilizar la producción de bioenergía para otras acciones ambientales (Ashraf, et al., 2019).

Contribuye a la disminución de la erosión del suelo por malas prácticas agrícolas o por el medio natural, estabiliza a los metales pesados generando la transformación de sustancias menos tóxicas (Laghlimi et al., 2015), esta técnica se puede aplicar en cualquier tipo de suelo contaminado por metales tóxicos, a su vez se puede aplicar insitu y exsitu (Hernández et al., 2022).

2.1.10.2 Desventajas

Es una técnica que necesita un período largo, pueden ser meses o hasta años ya que depende de los ciclos biológicos de cada especie vegetal para descontaminar los suelos, la fitotoxicidad de las plantas genera una disminución en la tasa de crecimiento y desarrollo lo cual influye en la eficiencia de la fitorremediación provocando una limitación en la profundidad de las raíces, el problema general es que se requiere una tasa de crecimiento alta y no baja ya que la fitorremediación puede ser lenta (Shah et al., 2020).

Los limitantes de la fitorremediación es el tratamiento, almacenamiento y eliminación de la biomasa de las especies vegetales una vez cumplida su función descontaminante.

Cuando los metales contaminados se encuentran ligados al suelo son más complicados de remover provocando que la fitorremediación sea menos efectiva (Hernández et al., 2022).

2.1.11 Factores que afectan la fitorremediación

Uno de los factores principales es la eficacia de la fitorremediación en suelos contaminados ya que está altamente condicionada por la disponibilidad de los metales tóxicos presentes, la unión

de estos contaminantes provoca la insolubilidad en el suelo, por esta razón, diversas especies vegetales han evolucionado para desarrollar mecanismos capaces de transformar los metales tóxicos en formas solubles mediante la generación de compuestos como los fitosideróforos (Shah et al., 2020).

Otros factores que afectan a la fitorremediación son las especies vegetales, puesto que estas dependen de la tasa de crecimiento y la capacidad de remover el contaminante mediante sus raíces (Kanwar et al., 2020), las condiciones ambientales, la altitud, la temperatura, la humedad entre otros indican un efecto negativo o positivo en la fitorremediación.

2.1.12 Disposición de la biomasa

La disposición de la biomasa de las especies vegetales después de ser manejada para la remediación de suelos contaminados generados por metales pesados puede ser considerada un gran problema debido a la desventaja tecnológica (Awa et al., 2020), según (Hui Awa, 2020) manifiesta que la biomasa de las plantas debe ser utilizada de manera equilibrada para dar una disposición adecuada de acorde a las regulaciones de un país, estas especies poseen altas concentraciones de metales contaminados y deben ser desechadas o depositadas en vertederos para sustancias peligrosas.

2.2 Especies vegetales fitorremediadoras

2.2.1 *Rábano*

Según (Mamani, 2014) el rábano se distingue de otros tubérculos por su capacidad excepcional para crecer rápidamente en ambientes hostiles, este vegetal demuestra una habilidad notable para adaptarse a cualquier entorno, gracias a sus raíces que reciben los nutrientes del suelo, sobre todo cuando se le brinda un suministro constante de riego.

2.2.1.1 *Taxonomía del rábano*

Los rábanos pertenecen a la familia de las crucíferas, que incluye 3.000 especies típicas de varias regiones del hemisferio norte, incluyendo 380 géneros (Cruz, 2019).

Tabla 1-2: Taxonomía del rábano

Orden	Brassicales
Especie	Sativus
Nombre común	Rábano
Familia	Cruciferae
Género	Raphanus
Reino	Plantae
División	Taxonomía

Realizado por: (Cruz, 2019)

2.2.1.2 Fitorremediación con rábano (*Raphanus sativus*)

Según (Hoyos et al., 2013), manifiestan que los datos obtenidos del *Raphanus sativus* son resistentes a diversos suelos contaminados, además mostraron diferencias significativas con otras especies vegetales en la extracción de metales pesados que se producen en la tierra debido a la contaminación directa o indirecta, el rábano es muy eficiente en la captura de grandes cantidades de Cd, Ni y Pb gracias a sus raíces (Villalba, 2021).

2.2.2 Ortiga

Según (Tejada, 2017), la ortiga científicamente conocida como *Urtica urens*, es una planta herbácea perenne que prospera en diversos hábitats, como vertederos, bordes de caminos rurales y zonas húmedas, puede crecer en cualquier tipo de suelo, prefiere lugares con poca luz solar y bajas temperaturas, sus tallos rectos y cuadrados pueden alcanzar hasta un metro de altura, además, es capaz de reproducirse a partir de un único ejemplar, su rango de tolerancia de pH se extiende a los 5.5 a 8 grados de pH.

2.2.2.1 Taxonomía de la ortiga

Tabla 2-2: Taxonomía de la ortiga

Orden	Rosales
Especie	Urens
Nombre común	Ortiga
Familia	Urticaceae
Genero	Urtica

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta

Realizado por: (Harvey, 2018)

2.2.2.2 Fitorremediación con ortiga (*Urtica urens*)

Esta especie vegetal es capaz de acumular plomo en sus tejidos, de igual manera esta planta es capaz de crecer en suelos contaminados con metales pesados o inclusive con fertilizantes químicos, se puede demostrar que el uso de este procedimiento puede ayudar a mitigar, reducir o incluso eliminar los contaminantes de una forma eficaz y eficiente (Harvey, 2018).

2.2.3 Cilantro

El cilantro, es una especie vegetal anual que prospera en sombras ligeras, es fácil de cultivar y crece en suelos muy húmedos, debe tener una textura ligera y ser rico en materia orgánica para producir altos rendimientos, su sistema radicular está formado por una raíz principal axonomorfa, extremadamente delgada y muy ramificada, lo que hace que la plantación directa sea la mejor opción. (Rosas, 2021).

2.2.3.1 Taxonomía del cilantro

Tabla 3-2: Taxonomía del cilantro

Orden	Apiales
Especie	<i>Coriandrum sativum</i>
Nombre común	Cilantro
Familia	Apiaceae
Genero	Coriandrum
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta

Realizado por: (Rosas, 2021)

2.2.3.2 Fitorremediación con cilantro (*Coriandrum sativum*)

Según (Mahmood y Malik, 2014) evaluaron varias especies vegetales, incluida *Coriandrum sativum*, que estaban contaminadas con metales pesados (Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Cd, Mn y Zn), el

estudio se llevó a cabo en Pakistán y se recolectaron muestras de agua, suelo y de las plantas cultivadas, sus resultados sugieren que debido a su factor de translocación es típicamente más alto que el de los tubérculos, por ende las hojas del cilantro tienen una mayor capacidad de acumular metales pesados (Mahmood et al., 2014).

2.3 Suelos

2.3.1 *El suelo*

Según el (Instituto Nacional Tecnológico, 2007) expresa que el suelo es la capa superficial meteorizada que cubre el globo terrestre, está compuesto por materiales orgánicos como los organismos vivos, los residuos vegetales, raíces y material inorgánico como partículas rocosas y minerales, dando la formación sólida del suelo, el aire actúa principalmente en la porosidad edáfica.

2.3.2 *Manejo del suelo*

Varios estudios efectuados por la (Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 2008) manifiesta que el manejo edáfico es el medio de ejecutar cualquier tipo de propuesta agronómica, tomando en consideración algunas medidas de prevención como: evitar el encharcamiento, disminuir el paso de maquinaria pesada para disminuir la compactación, y mejorar la permeabilidad del perfil.

2.3.3 *Importancia de los suelos agrícolas*

Según la (FAO, 2015) se debe promover una mayor consciencia en la conservación edáfica siendo un recurso limitado e indispensable para la producción agrícola, se estima que el 95% de los alimentos se produce de forma directa e indirecta en el suelo, una gestión sostenible puede asegurar aproximadamente un 58% de alimentos suficientes para la demanda alimentaria de piensos y fibras, se estima que en el año 2050 la población mundial incrementará a los 9000 millones.

2.3.4 *Factores de formación del suelo*

(INATEC, 2016), define los factores principales que intervienen en la formación edáfica como el material parental, clima, vegetación, organismos vivos y el relieve, los cuales son denominados pasivos, sobre los que actúa el ser humano a través del tiempo.

2.3.5 Perfil del suelo

Según (Campos, 2007) expresa que el perfil del suelo se considera como un corte de forma transversal hasta alcanzar el material parental de la roca, está formado por varios horizontes que pueden contener uno, dos o tres, todo esto es una reacción completa de procesos físicos, químicos y biológicos.

2.3.6 Color del suelo

Según la (FAO, 2015) el color del suelo depende muchos de sus componentes como el contenido de humedad, la materia orgánica presente, y grado de oxidación de los minerales, se puede diagnosticar y evaluar ciertas medidas indirectas en las propiedades edáficas, actuando en secuencia para el estudio de un perfil de suelo, el origen del material parental, la presencia de materia orgánica y la exposición de sales y carbonos.

2.3.7 El pH del suelo

El pH del suelo es una medición que determina el nivel acidez, neutralidad o alcalinidad, este valor está relacionado con la concentración de iones hidronio (H^+) presentes en el suelo, lo cual ejerce influencia sobre la disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica en el entorno edáfico, diferentes cultivos y plantas tienen requerimientos específicos de pH para un crecimiento óptimo, por esta razón, es esencial evaluar y ajustar el pH según las necesidades de las plantas que se están cultivando (Aragón et al., 2020).

2.3.8 Clasificación de los suelos

Hay dos sistemas de clasificación de suelos para propósitos investigativos de ingeniería, el primero de ellos es el SUCS o USCS denominado Sistema Unificado de Clasificación del suelo que se utiliza para trabajos de geotécnica, el segundo de ellos es el sistema AASHTO que se usa para la construcción de carreteras (Borselli, 2022).

2.3.9 SUCS o USCS

Es un método para describir la textura del suelo y el tamaño de las partículas que se utiliza tanto en ingeniería como en geología (Roque, 2019), para la mayoría de los materiales este sistema de clasificación es aplicable debido a que está simbolizado por dos letras.

2.3.10 Sistema de clasificación AASHTO

Uno de los primeros sistemas fue el desarrollo de la clasificación de suelos de Terzaghi y Hogentogler en 1928, después de pasar por varias revisiones, este sistema se usa para fines de ingeniería más centrados en el campo, la construcción de terraplenes, así como las carreteras, con base a los hallazgos en laboratorios sobre la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico, se desarrolló este esquema de clasificación (Roque, 2019).

2.3.11 Criterios para considerar un suelo como contaminado

Según (Borselli, 2022) expresa que, en general se podría decir que un suelo está contaminado cuando se superan los niveles naturales de un agente contaminante, si es que está presente de forma natural debido a la emisión de numerosos contaminantes de fuentes industriales, domésticas y de transporte, es sencillo superar estos niveles de fondo sin poner en peligro el medio ambiente, dado que la calidad del suelo depende de los niveles de contaminación que permanezcan dentro de ciertos límites, puede ser un desafío definir la calidad en relación con un medio en la variabilidad de su composición y uso.

En base a tres factores, se evalúa el riesgo de un contaminante presente en el suelo que pueda sugerir que existe contaminación en el mismo:

- La concentración de contaminantes en el suelo.
- La exposición a la contaminación de las personas por diferentes vías.
- La toxicidad de las sustancias

2.3.12 Grados de contaminación

Según (Raimundo, 2017), el Nivel de Referencia Genérico (NGR), o la concentración de un contaminante se utiliza para definir una sustancia tóxica con respecto a los ecosistemas y la salud humana, el suelo con un nivel más alto pone un riesgo permisible, para cada uno de los presuntos usos genéricos de la tierra, los NGR se calculan a los tipos de suelo de la siguiente manera:

- **Suelo de uso industrial:** Esta categoría de suelo excluye las actividades agrícolas y ganaderas y tiene como uso principal el apoyo de actividades industriales.

- **Suelo de uso urbano:** Tiene como finalidad principal el apoyo a viviendas, oficinas, dotación de equipamientos y servicios, actividades recreativas y deportivas.
- **Terreno de libre disposición:** Son aquellos terrenos aptos para sustentar actividades agrícolas, forestales y ganaderas por no estar urbanizados ni industrializados.

Los valores NGR ofrecen estándares para clasificar el suelo como no contaminado, potencialmente contaminado o contaminado (Raimundo, 2017).

2.3.13 Suelo Industrial

Las actividades industriales emiten contaminantes hacia la atmósfera, el agua y el suelo, los contaminantes gaseosos y los radionúclidos son liberados al aire y pueden ingresar al suelo por medio de la lluvia ácida o la deposición atmosférica, en áreas industriales antiguas la contaminación podría derivar de un almacenamiento inadecuado de químicos o de la descarga directa de desechos en el suelo generado así su contaminación (FAO, 2019).

2.3.13.1 Estructura de los HAPs

Se caracterizan por tener una composición formada por dos o más unidades de benceno fusionadas, se ha identificado alrededor de un centenar de variantes de HAPs, ya que hay una amplia diversidad de isómeros, la estabilidad termodinámica de estos compuestos radica en la estructura atómica del anillo bencénico, lo cual se debe a la alta energía de resonancia negativa que surge de la interacción entre seis orbitales moleculares mediante un solapamiento cíclico (Canals, 2005).

2.4 Metales pesados en el suelo

2.4.1 Plomo en suelo

Este elemento se acumula en el suelo y, debido a su naturaleza esencial, no experimenta degradación, sin embargo, en concentraciones excesivas, puede tener impactos adversos en el suelo, lo que resulta en la reducción de sus funciones y capacidades inherentes (Sarmiento, 2022).

2.4.2 Cadmio en el suelo

La presencia excesiva de cadmio en el suelo puede ser considerada como contaminación, esto puede ser el resultado de la actividad industrial, el uso de fertilizantes y pesticidas que contienen cadmio, o incluso la disposición inadecuada de desechos (Herrera, 2000).

2.4.3 *Manganeso en el suelo*

El manganeso es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que desempeña un papel crucial en varios procesos metabólicos, sin embargo, la presencia excesiva de manganeso en el suelo puede tener efectos adversos en el entorno como la toxicidad en las plantas que pueden afectar negativamente el crecimiento de las raíces (Gómez, 2014).

2.4.4 *Zinc en el suelo*

Actividades industriales, como la minería y la producción de metales, pueden liberar zinc en el suelo en cantidades elevadas, causando contaminación del suelo, el zinc en exceso puede afectar la salud del suelo, alterar la disponibilidad de otros nutrientes y tener impactos en la biodiversidad del suelo (Romero et al., 2017).

2.4.5 *Cromo en el suelo*

El cromo hexavalente es conocido por ser más tóxico y puede tener efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente, puede ser liberado en el suelo a través de actividades industriales como la minería, la fabricación de productos químicos y la disposición de residuos (Navarro, 2014).

2.4.6 *Cobre en el suelo*

Aunque el cobre es necesario en cantidades adecuadas, la exposición a concentraciones elevadas puede volverse tóxica para las plantas, la deficiencia de cobre puede llevar a síntomas como hojas pálidas y malformaciones en el crecimiento (Almendros, 2008).

2.4.7 *Hierro en el suelo*

Los óxidos de hierro también pueden influir en el color del suelo, la presencia de óxidos de hierro puede dar lugar a suelos rojos, amarillos o marrones, dependiendo de su concentración y forma, la deficiencia de hierro es común en suelos alcalinos o calcáreos, donde el hierro puede volverse menos disponible para las plantas (Mata, 2010).

2.4.8 Mercurio en el suelo

El mercurio es altamente tóxico y puede tener efectos perjudiciales tanto en la salud humana como en los ecosistemas, la exposición al mercurio puede causar daño al sistema nervioso central, afectar el desarrollo neurológico en niños y tener efectos negativos en la función renal y cardiovascular (García, 2014).

2.4.9 Arsénico en el suelo

El arsénico puede ingresar al suelo a través de fuentes naturales, como la erosión de rocas y minerales que contienen arsénico, sin embargo, también puede ser liberado al suelo debido a actividades humanas, la exposición crónica al arsénico puede tener efectos graves en la salud, incluyendo enfermedades respiratorias, problemas cardiovasculares y un mayor riesgo de cáncer de piel (Montoya, 2014).

2.4.10 Cobalto en el suelo

La deficiencia de cobalto en las plantas puede manifestarse como un retraso en el crecimiento y un pobre desarrollo de las hojas, sin embargo, la toxicidad por cobalto es rara y generalmente no se considera un problema importante en la agricultura (Elizabeth, 2019).

2.4.11 Vanadio en el suelo

Se ha demostrado que el vanadio puede afectar a los microorganismos en el suelo y a los procesos biogeoquímicos que llevan a cabo, como la descomposición de materia orgánica y la fijación de nitrógeno, su influencia en estos procesos puede variar según su forma química y las condiciones ambientales (Villacreces, 2020).

2.4.12 Plata en el suelo

La plata puede tener propiedades antimicrobianas y, en ciertas aplicaciones, se utiliza para combatir microorganismos dañinos, sin embargo, la liberación excesiva de plata al medio ambiente puede ser perjudicial para los ecosistemas acuáticos y terrestres, la plata puede afectar a los microorganismos y otros organismos del suelo y del agua (Eugenio, 2019).

2.4.13 Níquel en el suelo

Según (López, 2012), expresa que, pesar de su importancia en pequeñas cantidades, el níquel en concentraciones elevadas puede volverse tóxico para las plantas, la toxicidad por níquel puede causar daño en las raíces, inhibir la absorción de otros nutrientes y afectar negativamente el crecimiento y la salud general de las plantas.

2.4.14 *Calcio en el suelo*

La deficiencia de calcio en las plantas puede causar problemas como el "rajado" de los frutos (por ejemplo, en los tomates), la necrosis de los extremos de las hojas (punta quemada) y la debilidad en las paredes celulares, la disponibilidad de calcio para las plantas puede verse afectada por el pH del suelo y la competencia con otros cationes, como el magnesio y el potasio (Guevara, 2017).

2.5 Conservación de los suelos

Para la conservación de suelos agrícolas es necesario aumentar los macro y micronutrientes necesarios para que las plantas produzcan más frutas y verduras, se utilizan enmiendas orgánicas para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo.

Los abonos verdes, depurativos, y lombricompostas son algunas de las principales enmiendas orgánicas (Murillo, y otros, 2020), cuando se combinan con microorganismos efectivos tienen el potencial de aumentar la disponibilidad de agua para las especies vegetales, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, recuperar suelos degradados, reducir la erosión, capturar metales pesados, solubilizar los macro y micronutrientes requeridos por las plantas.

2.5.1 *Enmiendas orgánicas*

La transformación de desechos vegetales, animales e industriales da como resultado enmiendas orgánicas, que pueden ser adicionadas al suelo para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, así como la productividad de los cultivos agrícolas (Cuetia et al., 2013).

2.5.2 *Abonos verdes*

El término abonos verdes se refiere al reciclaje de subproductos vegetales de los sistemas agrícolas, como ramas, hojas, troncos, frutas y aserrín, que generalmente se agregan al suelo inmediatamente después de la cosecha (Forján et al., 2017).

2.5.3 *Lodos de depuración*

Los lodos de depuración pueden provenir de una variedad de fuentes, incluidos procesos industriales como curtidurías e instalaciones de tratamiento de aguas residuales, así como subproductos de la industria agrícola, principalmente en la producción de caña de azúcar, fique y palma aceitera (Castro García et al., 2016).

Un claro ejemplo, la producción de alcohol combustible, se puede utilizar como lodo orgánico, y el azúcar produce una cantidad significativa de subproductos en la industria azucarera, entre estos bienes se encuentran la vinaza, la cachaza y el bagazo, que son fuentes importantes de carbono oxidable, materia orgánica y elementos menores que pueden ser utilizados como fertilizante en el suelo (Bohórquez et al., 2015).

2.5.4 *Biochar*

El biocarbón o biochar se conoce como carbón mineral y se produce por pirólisis de materia vegetal o animal sin la presencia de oxígeno, este tipo de material natural proviene de la Amazonía brasileña y se distingue por su abundancia en carbono lábil (Brtnicky et al., 2019), debido a un aumento en la actividad microbiana, mejora las propiedades biológicas del suelo agrícola.

2.5.5 *Adiciones de estiércol*

Las adiciones de estiércol complementan otras enmiendas orgánicas porque ayudan a estabilizar el suelo y fomentan la actividad microbiana (Murillo et al., 2020).

2.5.6 *Vermicompost*

Las lombrices de tierra y las comunidades microbianas trabajan juntas para fomentar las condiciones correctas para que el microbiota del suelo convierta los desechos peligrosos en biomasa y productos de la respiración celular (Castro García et al., 2016).

2.5.7 *Microorganismos eficientes*

La composición fisicoquímica y microbiológica del suelo mejora mediante microorganismos eficientes (EM), que funcionan con enmiendas orgánicas para suministrar nutrientes a los suelos agrícolas (Murillo et al., 2020).

2.6 El huerto

Los huertos son ecosistemas agrícolas ubicados junto del lugar de residencia de los pobladores del sector ya sea de manera permanente o temporal, estos se encuentran en un espacio reducido combinando arbustos, verduras, gramíneas, frutales y hierbas de menor o largo crecimiento, produciendo alimento y condimentos, medicinas y materiales de construcción, rara vez se incorporan animales domésticos a este medio, el aprovechamiento continuo de especies alimenticias u ornamentales son transmitidas de generación en generación, y al mismo tiempo se resguarda los recursos fitogenéticos para la conservación de la biodiversidad en el suelo. (Flores, 2016).

Según (Biología UV, 2015) existen diferentes variedades de huertos entre ellos son: directo en el suelo, en contenedores, en la pared o vertical, en el aire o colgante, y en el agua.

2.6.1 *Huerto directo en el suelo*

Es una de las formas básicas de cultivo cuando tenemos áreas verdes, para este proceso solo se necesita ablandar el terreno un poco, hacer surcos, colocar las semillas o plántulas y esperar que empiecen a crecer nuestras especies.

2.6.2 *Huerto en contenedores*

Son ideales para las terrazas de los hogares este tipo de huertos las raíces se encuentran delimitadas, por eso dependen exclusivamente del volumen de la maceta designada para el suministro de agua y nutrientes.

2.6.3 *En la pared o vertical*

Sirven para decoración para embellecer las paredes de los hogares, solo se necesita una estructura para sostener las macetas o también se pueden construir canaletas para sembrar, son ideales para especies ornamentales y aromáticas.

2.6.4 *En el aire o colgante*

Ofrece la ventaja de movilización a la luz solar, cuando no se posee áreas verdes o espacios.

2.6.5 *En agua*

Son cultivos hidropónicos para cultivar hortalizas de hoja, se requiere una gran inversión y constantemente algunos insumos externos. (UV, 2015).

Existen diferentes tipos de huertos entre ellos: huertos familiares, huertos urbanos, y huertos escolares.

2.6.6 *Huerto familiar*

Los huertos familiares son sistemas sostenibles y se caracterizan por su eficiencia y efectividad, debido a que están compuestos por diferentes especies en su hábito de vida, dadas sus funciones de producción y protección y de la importancia de estos huertos ejercen la seguridad alimentaria. (Stiven, 2020).

2.6.7 *Huerto Urbano*

Los huertos urbanos son ecosistemas que se establecen en el crecimiento de plantas y árboles, dentro o en la franja de las ciudades (intraurbano o periurbano), incluyendo provisiones necesarias, así como las actividades comerciales de sus productos y servicios, (Borbón et al., 2020).

2.6.8 *Huerto escolar*

Los huertos escolares son estrategias pedagógicas que permiten fortalecer la seguridad alimentaria, el cuidado con los recursos naturales mediante técnicas agronómicas ecosustentables, con el fin de crear una conciencia ambiental a los estudiantes de las instituciones (Tobar et al., 2019).

2.6.9 *Beneficios de los huertos*

2.6.9.1 *Beneficios ambientales*

Se percibe un clima agradable debido a que bajo la sombra de los árboles pueden refugiarse del calor y logran mantener una temperatura más homogénea durante el día y la noche favoreciendo un confort de calidad en las viviendas.

2.6.9.2 *Beneficios sociales*

Según (Flores et al., 2016), se identifica a los aspectos éticos y estéticos ya que incluyen la interacción familiar y la relación con otras personas, mediante entrevistas se manifestó que los huertos crean una convivencia entre vecinos y familias.

2.6.9.3 *Beneficios alimentarios*

Se identificaron diversos usos y los más relacionados con la sostenibilidad y la seguridad alimentaria son la obtención de alimentos de calidad del cerco vivo, junto con otras funciones relacionadas a las técnicas tradicionales agroecológicas (Flores et al., 2016), conservando la estabilidad de especies, el abonado orgánico saludable, que favorecen la productividad y calidad de vida de los usuarios.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación política y geográfica del área de estudio

La parroquia “San Pedro de Licto”, está ubicada dentro del espacio geopolítico del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, a 18 Km² de la cabecera cantonal en dirección suroeste con las siguientes características:

- Latitud: 766405
- Longitud: 9800166
- Rango altitudinal: 2680-3320 msnm

La superficie total del área es de 58.42 Km²

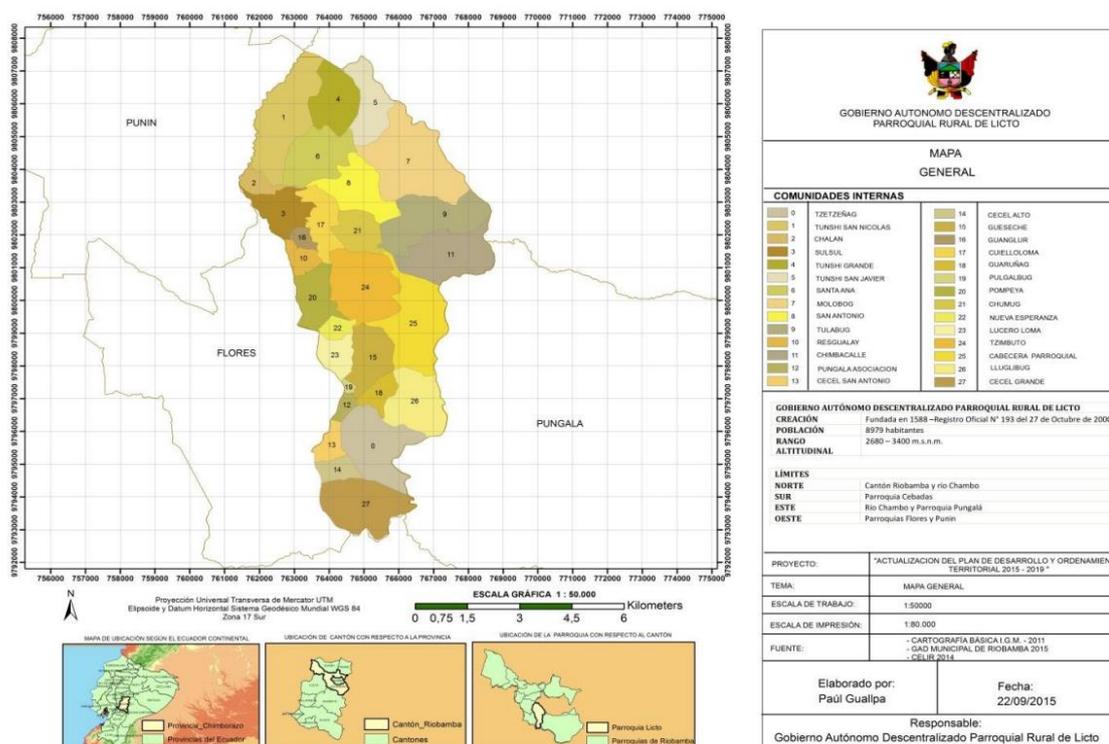


Ilustración 1-3: Ubicación general del área de estudio

Fuente: (Guevara, 2019)

El área de estudio está localizada en la Estación Experimental Tunshi, en la zona 2 del Centro de Bioconocimiento donde se ubica en la parte posterior junto al estación meteorológica, su superficie es de aproximadamente 5.500 m².



Ilustración 2-3: Ubicación del área de estudio

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se llevó a cabo es de tipo cuantitativo con un alcance correlacional, para ello se realizará el método analítico y de síntesis, también se apoyará en diversos instrumentos como en la observación directa para la obtención de datos necesarios, comprobando las hipótesis establecidas.

3.3 Para el objetivo 1: Revisar bibliográficamente las especies fitorremediadoras

Para la revisión bibliográfica acerca de las especies vegetales fitorremediadoras se tomó en cuenta artículos científicos, proyectos de grado, y revistas científicas de la plataforma Google Académico, tomando en consideración fechas actuales para una correcta investigación, de acuerdo a los criterios de Gisela, 2017.

3.4 Para el objetivo 2: Diseñar un huerto con especies fitorremediadoras

- Con el programa Google Earth se determinó el área de estudio, con sus características físicas, químicas y biológicas, además se adecuó el lugar para la implementación del huerto y los lechos con sus tratamientos, véase la ilustración 3-3.

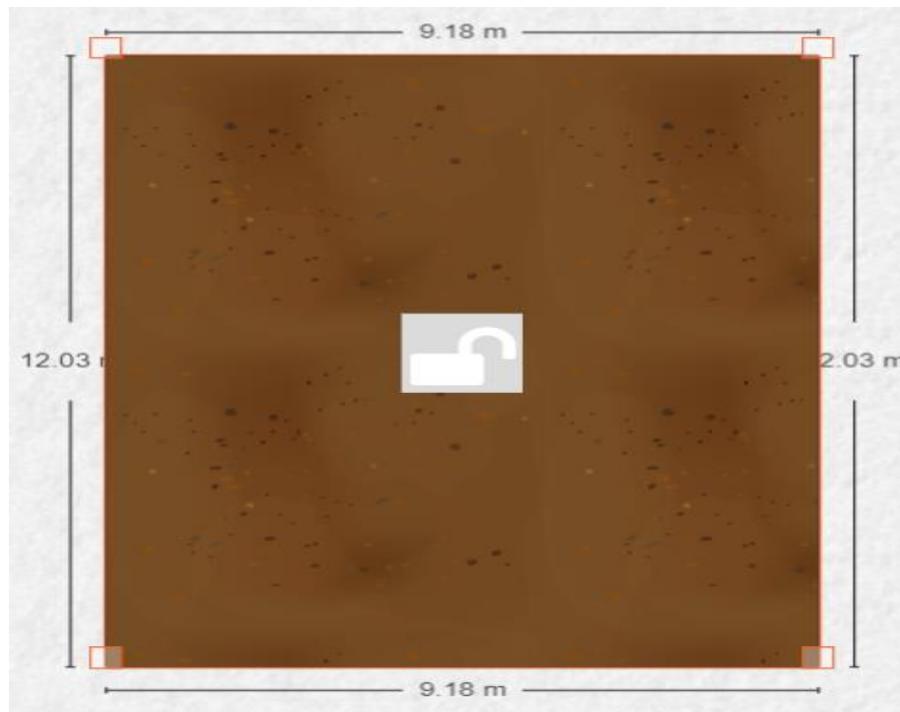


Ilustración 3-3: Área de estudio adecuada para los tratamientos con sus lechos

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

- El diseño del huerto se realizó con el programa Garden Planner, del cual, el área de estudio se distribuyó en dos partes, como se puede observar en la ilustración 4-3: en la primera sección se cultivó las semillas de estudio en surcos horizontales con el propósito de observar su libre desarrollo; en la segunda sección se construyó camas o lechos que contienen el suelo contaminado y así observar la fitorremediación correspondiente de las mismas, además se bosquejo etiquetas y carteles informativos sobre la absorción de metales pesados que tienen estas especies vegetales.

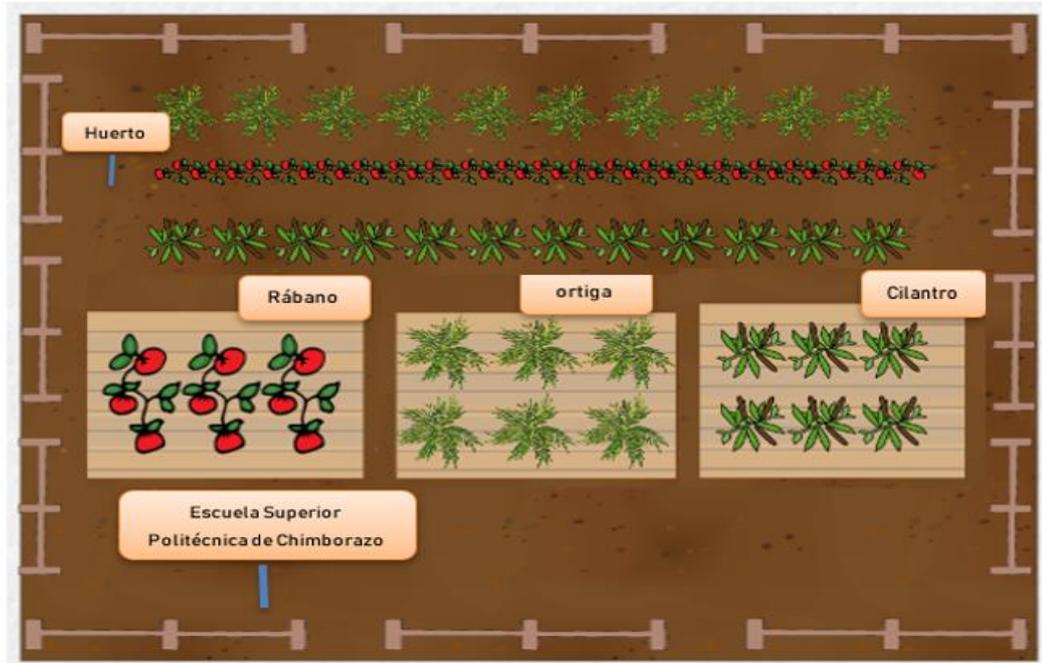


Ilustración 4-3: Diseño e implementación de las especies vegetales en el área de estudio

Realizado por: Brayan Castillo, 2013

- Se bosquejé los lechos o camas con sus respectivas medidas, con el propósito de estudiar el potencial descontaminante y desarrollo de las especies vegetales de estudio, véase en la ilustración 5-3.

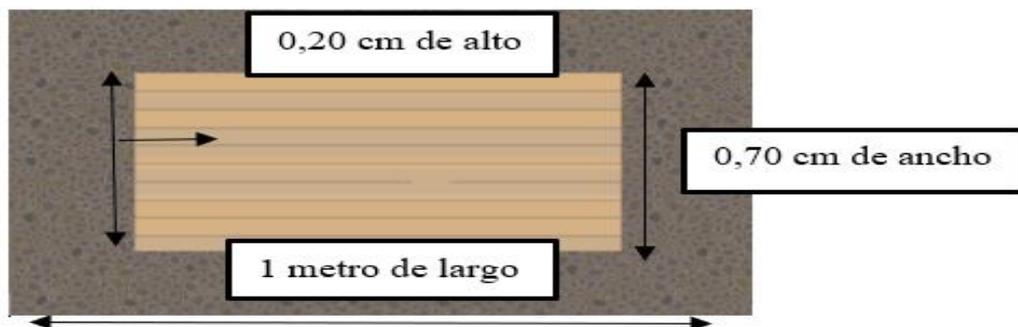


Ilustración 5-3: Bosquejo de los lechos con las especies vegetales fitorremediadoras

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

- Se diseñó la disposición de los tratamientos: 8 especies vegetales en fila y 4 especies en columna para cada lecho véase la ilustración 6-3

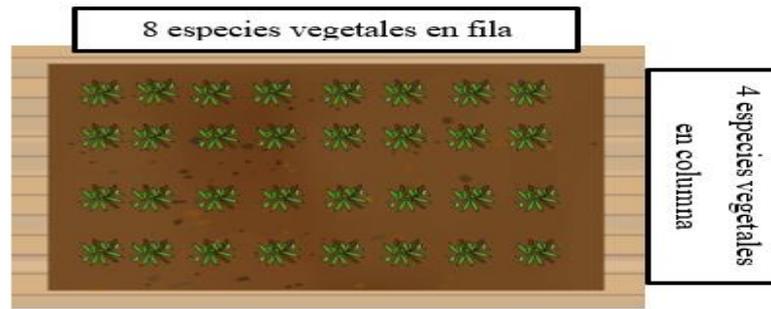


Ilustración 6-3: Distribución de los tratamientos en cada lecho

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

3.5 Para el objetivo 3: Determinar las especies con el potencial para descontaminar suelos agrícolas

- Para los tratamientos (especies vegetales de estudio) se obtuvo 3 tipos de suelos: suelo agrícola (Tunshi), suelo con hidrocarburos (vulcanizadora) y suelo con fertilizantes químicos (invernadero) de los cuales, se realizó un análisis químico del suelo con el propósito de diferenciar los parámetros de contaminación que cada uno de ellos posee y a su vez elegir el de mayor contaminación para su respectiva fitorremediación con los tratamientos.
- Para el análisis inicial de los suelos contaminados, se usó la metodología en zigzag que consiste en tomar submuestras a lo largo y ancho de la muestra, luego las submuestras obtenidas se mezclan en un balde o lona de acuerdo con los criterios de (Reynaldo, 2017).
- El suelo que tuvo mayor contaminación en sus parámetros fue implementado en los lechos, cultivando en ellos los tratamientos con el propósito de conocer su potencial descontaminante.
- Las especies utilizadas fueron escogidas del análisis bibliográfico las cuales al ser revisadas desempeñan eficazmente su rol de fitorremediación.
- Para evaluar la adaptabilidad de las especies vegetales seleccionadas bibliográficamente, a lo largo de un período de 90 días, se llevó a cabo la observación de las plantas en términos de crecimiento, salud y comportamiento, las mediciones de parámetros relevantes, como altura, área foliar y estado general de la planta se realizaron periódicamente.
- Todos los datos recopilados durante el período de observación se registraron de manera detallada, posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo para identificar los cambios

significativos en el desarrollo de las especies vegetales, ya sea por factores climáticos o por los mismos contaminantes.

- Con el propósito de evaluar su desarrollo y potencial descontaminante, se llevó a cabo la siembra de los tratamientos en cada uno de los lechos de estudio, como muestra la tabla 4-3.

Tabla 4-3: Ensayos de estudio de los tratamientos

Tratamientos	Códigos	Descripción
T1	T1.1	Rábano + suelo (hidrocarburo)
	T1.2	
	T1.3	
T2	T2.1	Ortiga + suelo (hidrocarburo)
	T2.2	
	T2.3	
T3	T3.1	Cilantro + suelo (hidrocarburo)
	T3.2	
	T3.3	

Realizo por: Brayan Castillo,2023

- Para los análisis químicos finales del suelo contaminado, se retiraron los tratamientos cultivados de los lechos, con el propósito de obtener muestras del suelo y determinar el porcentaje de descontaminación en sus parámetros.
- Se realizó un análisis estadístico de muestreo (n=3), realizándose las comparaciones de los tratamientos (T1, T2, T3) de los parámetros químicos de descontaminación del suelo, utilizando el programa MINITAB se determinó si las medianas entre tratamientos difieren entre sí para $p < 0.05$.
- Se interpretaron los análisis estadísticos con varios autores con el propósito de evaluar la eficacia relativa de los tratamientos en términos de descontaminación del suelo.

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Especies fitorremediadoras revisadas bibliográficamente

Se determinaron 27 especies vegetales distribuidas en diversas familias botánicas por su capacidad en fitorremediación, a través de esta selección, se buscó comprender la capacidad de las plantas para fitorremediar y absorber contaminantes del suelo según los criterios de (Chinchay, 2021), como muestra la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Lista de las especies vegetales fitorremediadoras

	Nombre vulgar	Nombre científico	Familia	Estado
1	Sábila	<i>Aloe vera</i> L. Burm. f.	Asphodelaceae	Introducida
2	Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	Alliaceae	Introducida y cultivada
3	Eucalipto blanco	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Myrtaceae	Introducida y cultivada
4	Cola de caballo	<i>Equisetum arvense</i> L.	Equisetaceae	Introducida y cultivada
5	Jengibre	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe.	Zingiberaceae	Introducida y cultivada
6	Tomillo	<i>Thymus Vulgaris</i> L.	Lamiaceae	Introducida y cultivada
7	Tila	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	Malvaceae	Introducida y cultivada
8	Diente de León	<i>Taraxacum officinale</i> L.	Asteraceae	Introducida
9	Orégano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Lamiaceae	Cultivada
10	Pasiflora	<i>Passiflora andina</i> Killip.	Passifloraceae	Endémica
11	Corteza de sauce	<i>Salix babylonica</i> L.	Salicaceae	Cultivada
12	Cabuya negra	<i>Agave americana</i> L.	Agavaceae	Introducida y cultivada
13	Arándano	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.	Ericaceae	Nativa
14	Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Euphorbiaceae	Introducida y cultivada

15	Ortiga	<i>Urtica urens</i> L.	Urticaceae	Introducida
16	Amapola	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Papaveraceae	Introducida
17	Apio	<i>Apium graveolens</i> L.	Apiaceae	Introducida y cultivada
18	Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i> Mill. DC.	Asteraceae	Introducida y cultivada
19	Ruda	<i>Ruta graveolens</i> L.	Rutaceae	Introducida
20	Caléndula	<i>Calendula officinalis</i> L.	Asteraceae	Introducida y cultivada
21	Olmo	<i>Ulmus</i> L.	Ulmaceae	Introducida y cultivada
22	Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Apiaceae	Introducida
23	Hierba buena	<i>Mentha spicata</i> L.	Lamiaceae	Introducida y cultivada
24	Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Lamiaceae	Cultivada
25	Menta	<i>Mentha piperita</i> L.	Lamiaceae	Introducida y cultivada
26	Rábano	<i>Raphanus sativus</i> L.	Brassicaceae	Introducida y cultivada
27	Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Apiaceae	Introducida y cultivada

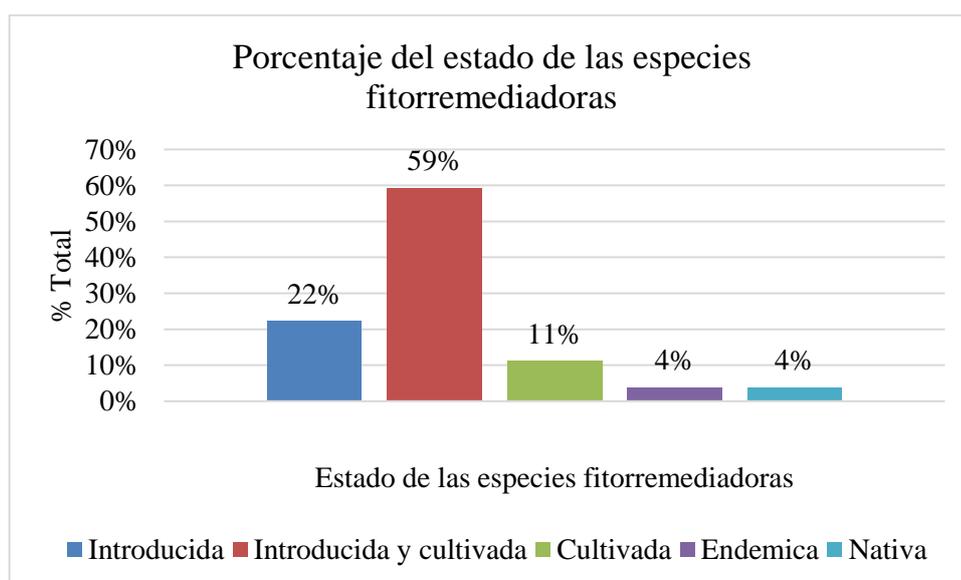


Ilustración 7-4: Porcentaje total del estado de las especies fitorremediadoras

La ilustración 6-4 expresa que, el 22% son especies introducidas este porcentaje indica que aproximadamente una quinta parte de las especies utilizadas en la fitorremediación no son originarias, es decir, son especies que han sido introducidas desde otras regiones o ecosistemas, el 59% son especies cultivadas e introducidas, esto significa que la mayoría de las especies utilizadas en la fitorremediación son plantas que se han introducido y se están cultivando deliberadamente en las localidades, el 11% presenta las especies que son cultivadas, y el 4% expresa que, son especies endémicas y nativas de la región según los criterios de (Quími, 2023), establece que mayormente, las especies de carácter medicinal, realzan su importancia para abordar desafíos ambientales mejorando la calidad del suelo.

Según (Alarcón, 2021), expresa que, las plantas medicinales poseen propiedades de fitorremediación, debido a que estas plantas han evolucionado para desarrollar compuestos químicos beneficiosos tanto para su propia supervivencia en ambientes contaminados como para el uso medicinal en seres humanos.

4.2 Especies fitorremediadoras con sus capacidades descontaminantes

A través de esta selección, se buscó comprender la capacidad descontaminante de las especies fitorremediadoras para absorber diversos metales pesados presentes en el suelo de acuerdo con los criterios de (Haro, 2023), como muestra la tabla 6-4

Tabla 6-4: Capacidad descontaminante de las especies vegetales

	Nombre científico	Capacidad descontaminante
1	<i>Aloe vera</i> L. Burm. f.	Descontaminación de aguas con Plomo (Silva, 2021).
2	<i>Allium sativum</i> L.	Elimina materiales contaminados como los efluentes industriales (Silva, 2021).
3	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Sirven como bioindicador del nivel de contaminación en el suelo de Cd, Mn y Zn (García, 2021).
4	<i>Equisetum arvense</i> L.	Absorbe el arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, plomo y zinc (Sánchez, 2021).

	Nombre científico	Capacidad descontaminante
5	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe.	Absorbe la luz ultravioleta y metales pesados presentes en el suelo (Rojas, 2021).
6	<i>Thymus Vulgaris</i> L.	Absorbe el arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, plomo y zinc (Rojas, 2021).
7	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	Absorbe el cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc (García, 2021).
8	<i>Taraxacum officinale</i> L.	Absorbe el plomo y cadmio (García, 2021).
9	<i>Origanum vulgare</i> L.	Absorbe el arsénico, cadmio y níquel, plomo (Silva, 2021).
10	<i>Passiflora andina</i> Killip.	Absorbe el plomo y cadmio (Silva, 2021).
11	<i>Salix babylonica</i> L.	Absorbe el calcio y zinc (García, 2021).
12	<i>Agave americana</i> L.	Pueden absorber cadmio (García, 2021).
13	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.	Pueden absorber cromo, cobalto, hierro, níquel, plomo, zinc cadmio, cobre (Silva, 2021).
14	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Pueden absorber cromo, zinc y plomo (Silva, 2021).
15	<i>Urtica urens</i> L.	Ayuda a mitigar, reducir o incluso eliminar los contaminantes de una forma eficaz y eficiente (Silva, 2021).
16	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Puede absorber plomo y cadmio (Sánchez, 2021).
17	<i>Apium graveolens</i> L.	Pueden absorber plomo, cadmio, arsénico, y mercurio (Sánchez, 2021).
18	<i>Artemisia absinthium</i> Mill. DC.	Pueden absorber el plomo en mayor concentración (Sánchez, 2021).
19	<i>Ruta graveolens</i> L.	Puede absorber plomo y cadmio (Sánchez, 2021).
20	<i>Calendula officinalis</i> L.	Pueden absorber el arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, plomo y zinc (Sánchez, 2021).
21	<i>Ulmus</i> L.	Pueden absorber el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, y la plata (Sánchez, 2021).
22	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Puede absorber en abundancia el cromo (Sánchez, 2021).
23	<i>Mentha spicata</i> L.	Puede absorber el arsénico, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, plomo y zinc (Rojas, 2021).
24	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Pueden absorber el arsénico y el mercurio (Rojas, 2021).
25	<i>Mentha piperita</i> L.	Pueden absorber el cadmio y el zinc (Rojas, 2021).
26	<i>Raphanus sativus</i> L.	Es muy eficiente en la captura de grandes cantidades de Cd, Ni y Pb gracias a sus raíces (Rojas, 2021).

	Nombre científico	Capacidad descontaminante
27	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Pueden absorber cromo, cobalto, níquel, cobre, plomo, cadmio, manganeso y zinc (Rojas, 2021).

Realizado por: (Silva, y otros, 2021).

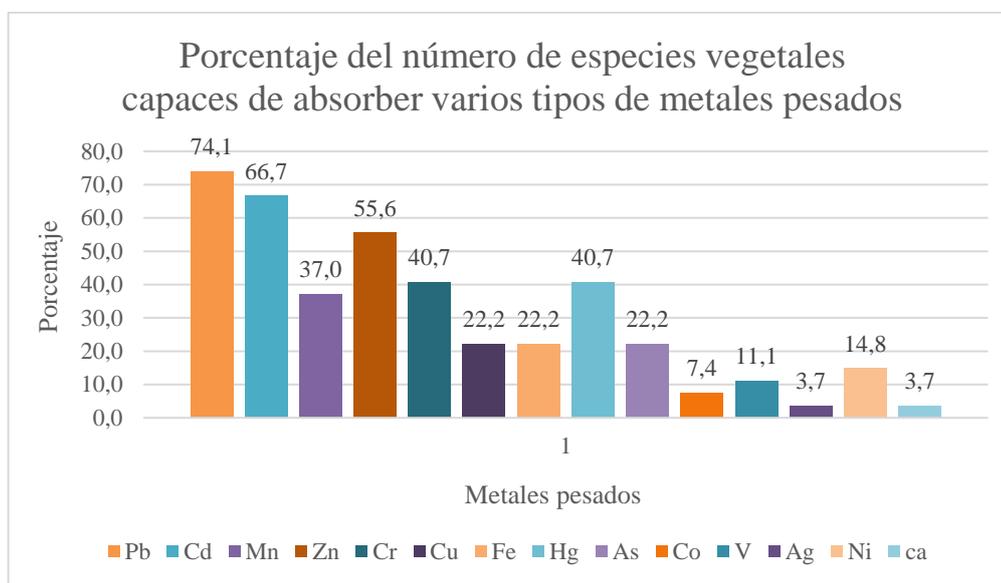


Ilustración 8-4: Cantidad de especies vegetales capaces de absorber diferentes tipos de metales pesados

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

Según la ilustración 6-4, indica que, el 74,1% de las especies vegetales pueden absorben plomo y estas podrían usarse para descontaminar cualquier tipo de suelo contaminado, al igual que con el plomo, las especies vegetales también presentan una capacidad significativa para absorber cadmio ya que cuentan con un valor del 66,7%, así mismo con un 55,6% hay varias especies vegetales que pueden absorben zinc, dado que es un nutriente esencial para las plantas en bajas concentraciones, con un 40,7% existen especies vegetales que pueden absorben cromo y mercurio en menor comparación, puesto que estos metales son altamente tóxicos, por último hay pocas especies vegetales capaces de absorber plata y cadmio, estas presentan un porcentaje de 3,7% esto es comprensible, ya que el calcio es un nutriente esencial y la plata se considera tóxico para las plantas en concentraciones elevadas, de acuerdo a los criterios de (García, 2021), el enfoque de absorción de plata y calcio es adoptado por muy pocas especies, este fenómeno podría estar asociado con la consideración de la alta contaminación de plata que puede estar presente en el suelo.

Según (Villarruel, 2022), la acumulación de cadmio en el suelo puede resultar en la contaminación de las aguas subterráneas y la cadena alimentaria, lo que representa un riesgo directo para la salud humana y la biodiversidad, el cadmio afecta la fertilidad del suelo al interferir con los procesos de absorción de nutrientes por las plantas, lo que reduce la calidad y cantidad de los cultivos de cacao, de acuerdo a la investigación de (Oviedo, 2017), la contaminación del suelo con plata puede alterar las propiedades químicas y biológicas del suelo, afectando su fertilidad y capacidad para sustentar el crecimiento vegetal esto gracias a la actividad minera ilegal.

4.3 Huerto con especies fitorremediadoras

Una vez recopilada la información de las especies vegetales fitorremediadoras, se procedió a la fase de diseño del proyecto para el área de estudio.

4.3.1 *Medición del terreno dentro del área de estudio*

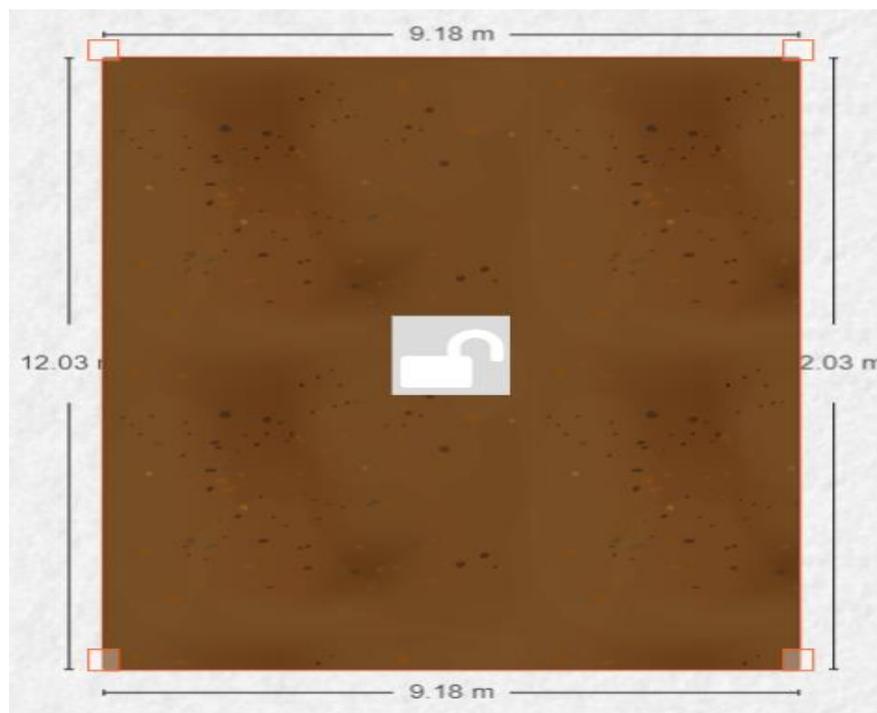


Ilustración 9-4: Área de estudio adecuada para los tratamientos con sus lechos

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La ilustración 8-4 indica el área de estudio adecuado para la implementación de los tratamientos, y esta elección se refleja en las dimensiones del terreno; 9,18 metros de ancho y 12,03 metros de largo, esto proporciona un espacio idóneo para llevar a cabo los procedimientos necesarios, esta disposición asegura que cada lecho tenga suficiente espacio para la siembra y el desarrollo óptimo de las especies vegetales seleccionadas de acuerdo a los criterios de la (FAO, 2007).

4.3.2 *Diseño del huerto dentro del área de estudio*

El diseño del huerto se realizó con el programa Garden Planner, del cual, el área de estudio se distribuyó en dos partes, como se puede observar en la ilustración 9-4; en la primera sección se cultivó las semillas de estudio en surcos horizontales con el propósito de observar su libre desarrollo; en la segunda sección se construyó camas o lechos que contienen el suelo contaminado y así observar la fitorremediación correspondiente de las mismas, además se bosquejo etiquetas y carteles informativos sobre la absorción de metales pesados que tienen estas especies vegetales.

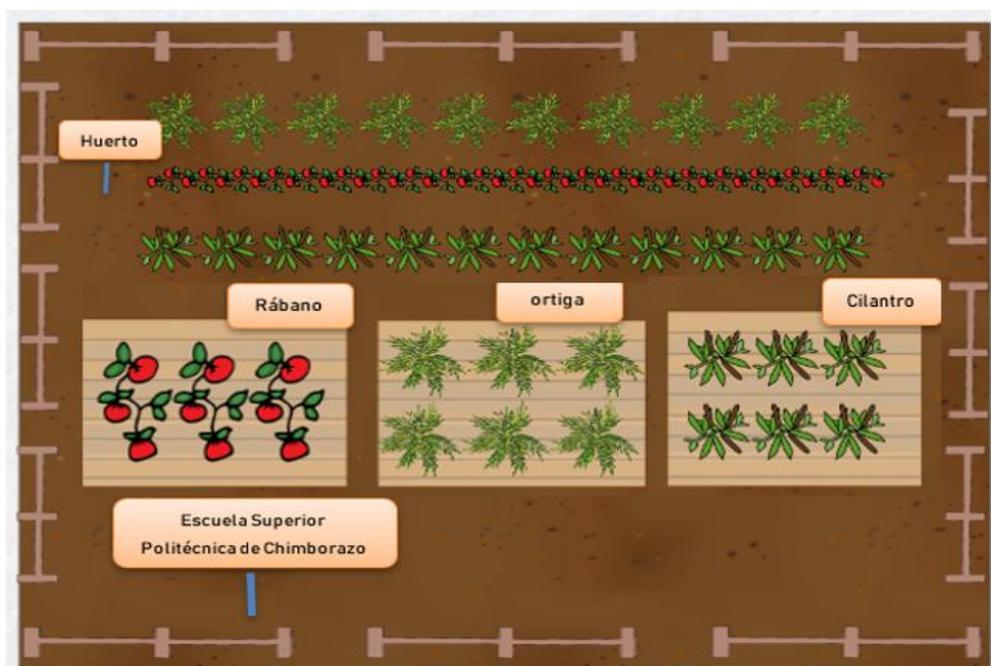


Ilustración 10-4: Diseño e implementación de las especies vegetales en el área de estudio

Realizado por: Brayan Castillo, 2013

En el diseño se ha asignado un tratamiento específico para cada lecho, en el primer lecho se cultivó rábano, en el segundo se cultivó ortiga, y en el tercero se cultivó cilantro, además, para complementar el diseño, se han trazado tres surcos horizontales, cada uno con una longitud de 7,5 m, estos surcos han sido ubicados para albergar cada tratamiento, en el primer surco se sembró

cilantro, en el segundo se sembró el rábano, y en el tercer surco se sembró ortiga, de acuerdo con (Moya, 2018), esta disposición permite una evaluación sistemática de los resultados de cada tratamiento, creando un marco integral para analizar su potencial fitorremediador véase la ilustración 9-4.

4.3.3 *Diseño de los lechos para el área de estudio*

Se bosquejé los lechos o camas con sus respectivas medidas, con el propósito de estudiar el potencial descontaminante y desarrollo de las especies vegetales de estudio, véase en la ilustración 10-4.

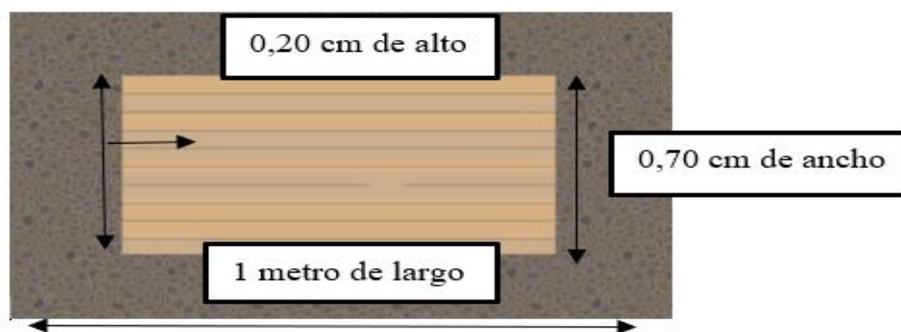


Ilustración 11-4: Bosquejo de los lechos con las especies vegetales fitorremediadoras

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

Cada lecho ha sido diseñado para proporcionar un entorno óptimo para el desarrollo de las especies vegetales, y esto se refleja en sus dimensiones; altura de 20 cm, un ancho de 70 cm y una longitud de 1 m, cada lecho ofrece un espacio calculado para permitir el crecimiento saludable de las plantas, estas dimensiones se han elegido considerando las necesidades espaciales de las especies vegetales y sus requerimientos para desarrollar sus raíces, tallos y hojas de manera adecuada de acuerdo a los criterios de (Moreno, 2019), el diseño de cada lecho, garantiza que las plantas tengan suficiente espacio para prosperar y realizar su proceso de fitorremediación de manera efectiva en el entorno controlado del estudio tal como lo indica la ilustración 10-4.

4.3.4 *Distribución de los tratamientos en cada lecho para el área de estudio*



Ilustración 12-4: Distribución de los tratamientos en cada lecho según el diseño

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La ilustración 11-4 indica la disposición de los tratamientos: 8 especies vegetales en fila y 4 especies en columna para cada lecho, según (Moya, 2018), este diseño permite la observación detallada de cada tratamiento y de su evolución a lo largo del período de estudio.

4.4 Especies con potencial descontaminante

Una vez recopilada la información bibliográfica, se escogió tres especies fitorremediadoras: rábano, cilantro y ortiga, con ello se determinó los siguientes resultados.

4.4.1 *Porcentaje de germinación de las especies fitorremediadoras en el suelo de hidrocarburos*

Se obtuvo el porcentaje de germinación de las especies vegetales fitorremediadoras para la evaluación de la efectividad para descontaminar metales pesados, a través de su adaptabilidad en suelos contaminados por hidrocarburos, de acuerdo a los criterios de (Rivas, 2016), como muestra la ilustración 8-4.

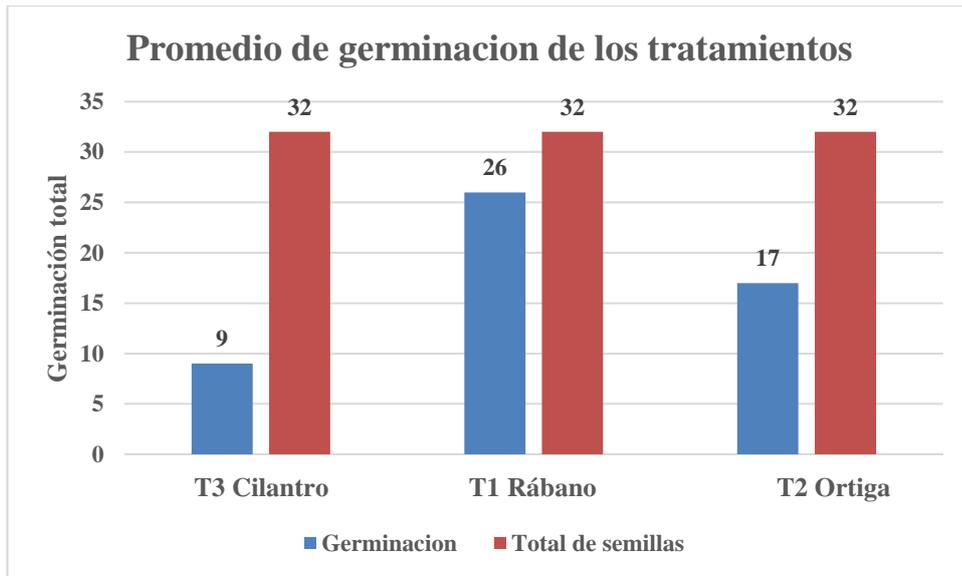


Ilustración 13-4: Promedio de germinación de las especies vegetales en el suelo de hidrocarburos.

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La ilustración 8-4, indica que de las 32 semillas de cilantro solo el 9% germinaron, esto significa, esto por tener una baja adaptabilidad o capacidad de germinar en este tipo de suelo, de las 32 semillas de rábano el 26% germinaron, en comparación con el cilantro, el rábano tiene una mayor capacidad de germinar en este tipo de suelo contaminado, y de las 32 semillas de ortiga solo el 17% germinaron, esto indica que la ortiga tiene un porcentaje intermedio de germinación en comparación con el cilantro y el rábano. de acuerdo a los criterios de (García, 2021), manifiesta que, el rábano tiene una mayor tolerancia o capacidad de adaptación a las condiciones del suelo con hidrocarburos en comparación con las otras dos especies.

4.4.2 *Altura de los tratamientos durante 3 meses en el suelo contaminado por hidrocarburos.*

Se obtuvo el efecto de contaminación por hidrocarburos en el crecimiento de cada uno de los tratamientos, donde estos pueden ser efectivos para ayudar a contrarrestar estos efectos adversos de contaminación, según los criterios de (García, 2021), como se muestra en la tabla 8-4.

Tabla 7-4: Altura y adaptabilidad de los tratamientos en un suelo con hidrocarburos

Crecimiento de las especies vegetales en el suelo con hidrocarburos			
Tiempo (días)	Tratamiento 1 <i>Raphanus sativus</i>	Tratamiento 2 <i>Urtica urens</i>	Tratamiento 3 <i>Coriandrum sativum</i>
15	0,3	0,1	0,1
30	2,8	1,4	0,81
45	6,2	5,8	3,2
60	10,2	6,4	5,5
75	13,5	11,8	8,3
90	16,2	13,6	8,3

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

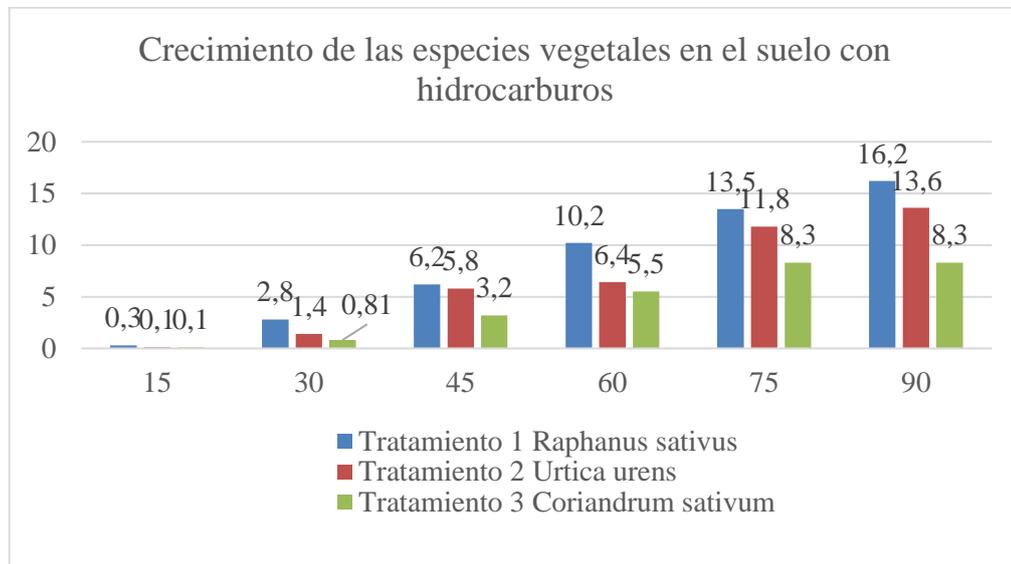


Ilustración 14-4: Altura y crecimiento de los tratamientos en el suelo con hidrocarburos

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La ilustración 9-4, expreso que el rábano tuvo un valor de adaptabilidad y crecimiento de 16,2 cm en los 3 meses fue la especie que mejor se adaptó a un suelo contaminado con metales pesados, según (Vargas, 2020) esta adaptabilidad le permitió prosperar en un entorno desafiante, lo que sugiere que el rábano posee características fitorremediadoras eficaces para lidiar con altas concentraciones contaminantes presentes en el suelo.

En el caso de la ortiga, se observó un crecimiento de 13,6 cm en los 3 meses, que fue relativamente baja en comparación con el rábano, su crecimiento fue lento a los 60 días, lo que puede deberse a la dificultad de adaptarse al suelo contaminado, sin embargo, a los 90 días, se pudo evidenciar

una mejora en su adaptación fitorremediadora de acuerdo a los criterios de (Tejada, 2017), indica que, con el tiempo pudo superar las dificultades iniciales y ajustarse al ambiente contaminado.

El cilantro tuvo un valor de crecimiento bajo, con 8,3 cm en los 3 meses de estudio, lo que indica una adaptación muy negativa al suelo contaminado, su crecimiento fue muy lento y lamentablemente las especies murieron poco después de su desarrollo concorde con (Paredes et al., 2021) sugiere que el cilantro no pudo tolerar las altas concentraciones de contaminantes presentes en el suelo y, por lo tanto, no fue una opción viable para la fitorremediación en dicho entorno.

4.5 Análisis químicos iniciales de los suelos obtenidos

Tabla 8-4: Análisis químico inicial de los suelos obtenidos

ANÁLISIS QUÍMICOS					
Id cliente	Parámetros		Resultados	Unidad	Nivel borrar
Suelo agrícola	pH	Digestión	6,3	unidades de pH	Potenciométrico
		húmeda			
	C.E	Digestión	284,3	us/cm	Potenciométrico
		húmeda			
		Parámetros	Resultados	Unidad	Nivel borrar
	Níquel	Digestión	<0,002	Ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cromo	Digestión	<0,002	Ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cadmio	Digestión	<0,002	Ppm	A.atómica
húmeda					
Vanadio	Digestión	<0,002	Ppm	A.atómica	
	húmeda				
Id cliente	Parámetros		Resultados	Unidad	Nivel
Suelo con hidrocarburos	pH	Digestión	6,18	unidades de UpH	Potenciométrico
		húmeda			
	C.E	Digestión	65,3	us/cm	Potenciométrico
		húmeda			
	Níquel	Digestión	120	ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cromo	Digestión	91	ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cadmio	Digestión	10	ppm	A.atómica
		húmeda			
Vanadio	Digestión	130,5	ppm	A.atómica	
	húmeda				
Id cliente	Parámetros		Resultados	Unidad	Nivel

Suelo con fertilizantes	pH	Digestión	5,33	unidades de	Potenciométrico
		húmeda			
	C.E	Digestión	236	us/cm	Potenciométrico
		húmeda			
	Níquel	Digestión	<0,005	ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cromo	Digestión	<0,005	ppm	A.atómica
		húmeda			
	Cadmio	Digestión	<0,004	ppm	A.atómica
		húmeda			
	Vanadio	Digestión	<0,002	ppm	A.atómica
		Húmeda			

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 8-4, indica los parámetros iniciales de los resultados de los análisis químicos de los suelos obtenidos, el suelo agrícola presenta valores de níquel de <0,002 ppm, cromo de <0,002 ppm, cadmio de <0,002 ppm y vanadio de <0,0002 ppm, el que contiene fertilizantes presentan valores de níquel de <0,005 ppm, cromo de <0,005 ppm, cadmio de <0,004 ppm y vanadio de <0,0002 ppm, tanto el suelo agrícola como el suelo del fertilizante están dentro de los límites máximos permisibles de contaminación en el Ecuador según el TULSMA expresa que, los valores máximos permisibles de níquel deben ser de 100 ppm, de cromo 90 ppm, de cadmio 10 ppm y de vanadio 130 ppm, las dos muestras presentan valores menores de contaminación por metales pesados a diferencia del suelo con hidrocarburos que sobrepasa los límites con sus parámetros, según los criterios de (Pérez, 2014), es el suelo electo para fitorremediar con los tratamientos.

4.6 Caracterización química inicial y final del suelo de hidrocarburos con sus tratamientos

Tabla 9-4: Caracterización química inicial y final del suelo de hidrocarburo con sus tratamientos

Identificación	Parámetros		Unidad	Resultado inicial	Resultado final
T1	pH	Digestión	unidades de	6,18	6,31
		Húmeda			
	C.E	Digestión	us/cm	65,3	63,8
		Húmeda			
	Níquel	Digestión	ppm	120	119,33
		Húmeda			
	Cromo	Digestión	ppm	91	90
		Húmeda			

	Cadmio	Digestión	ppm	10	9,55
		Húmeda			
	Vanadio	Digestión	ppm	130,5	130,1
		húmeda			
Identificación	Parámetros		Unidad	Resultado inicial	Resultado final
T2	pH	Digestión	unidades de	6,18	6,17
		Húmeda	UpH		
	C.E	Digestión	us/cm	65,3	65
		Húmeda			
	Níquel	Digestión	ppm	120	120
		Húmeda			
	Cromo	Digestión	ppm	91	91
		Húmeda			
	Cadmio	Digestión	ppm	10	10
		Húmeda			
	Vanadio	Digestión	ppm	130,5	130,5
		húmeda			
Identificación	Parámetros		Unidad	Resultado inicial	Resultado final
T3	pH	Digestión	unidades de	6,18	6,1
		Húmeda	UpH		
	C.E	Digestión	us/cm	65,3	64
		Húmeda			
	Níquel	Digestión	ppm	120	120
		Húmeda			
	Cromo	Digestión	ppm	91	91
		Húmeda			
	Cadmio	Digestión	ppm	10	10
		Húmeda			
	Vanadio	Digestión	ppm	130,5	130,5
		Húmeda			

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La Tabla 2-4, indica los resultados químicos del análisis inicial y final del suelo con hidrocarburos tras la implementación de los distintos tratamientos en los lechos, en el T2 y T3 los resultados de los análisis evidencian que no se disminuyó la concentración inicial, sin embargo el T1 (rábano + suelo con hidrocarburos), se evidencio una descontaminación en los parámetros iniciales, esta evaluación coincide con (Morales et al., 2022) concluyendo que *Raphanus sativus* (rábano) tuvo la capacidad de acumular cadmio en tallo, raíz y hojas.

4.7 Comparaciones estadísticas descriptivas de cada tratamiento con sus parámetros

Tabla 10-4: Estadísticas descriptivas del pH mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias	
T1	6,31	3,0	
T2	6,17	2,0	
T3	6,10	1,0	

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2,00	0,368
Ajustado para empates	2,26	0,323

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 3-4, indica los valores de pH del suelo con hidrocarburos y sus tratamientos, estos datos concuerdan con el análisis de Molina, 2010 indicando que el valor del pH de 5.5 es superior y óptimo para el cultivo e inferior a 5 se considera muy ácido para el desarrollo de especies vegetales, observándose un ligero aumento de pH con el T1 que presenta un valor de 6,31, esta especie vegetal contrarresta el efecto adverso de los metales pesados según (Pérez, 2014), al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre los tratamientos no existen diferencias significativas para un nivel de significancia del $p < 0.05$, ya que, si el valor p es mayor que el nivel de significancia, las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

Tabla 11-4: Estadísticas descriptivas de la C.E mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias	
T1	63,80	1,0	
T2	65,00	2,0	
T3	64,00	3,5	

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2,00	0,368
Ajustado para empates	2,26	0,323

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 5-4, indica los valores de la conductividad eléctrica del suelo con los hidrocarburos con los tratamientos, según la interpretación Garrido, 1993 los valores generales de conductividad eléctrica están entre $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$ es óptimo para el desarrollo de especies vegetales, en cambio de 500 a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ mediano desarrollo y $>$ a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ no existe desarrollo de las mismas, el T1 con un valor de $63,8 \mu\text{S}/\text{cm}$ es el adecuado ya que disminuyó la C.E del suelo contaminado por su adaptabilidad y desarrollo según la investigación de (Mosquera, 2018), al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre los tratamientos no existen diferencias significativas para un nivel de significancia del $p < 0.05$, ya que si el valor p es mayor que el nivel de significancia, las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

Tabla 12-4: Estadísticas descriptivas del níquel mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias
T1	119,33	1,0
T2	120,00	2,5
T3	120,00	2,5

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	1,79	0,409
Ajustado para empates	2,50	0,287

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 7-4, indica los valores de níquel, según el TULSMA los valores máximos permisibles de contaminación se encuentran en 120 ppm, de acuerdo a la investigación de (López, 2012), cuando los niveles de níquel en el suelo sobrepasan los 100 ppm, se rebasa el límite establecido por las regulaciones de contaminación, por ende, se plantea idear estrategias de descontaminación, al aplicar la prueba Kruskal Wallis se comprobó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3 (120 ppm), sin embargo el T1 muestra un valor de 199,33 y está dentro de los valores permisibles del TULSMA.

Tabla 13-4: Estadísticas descriptivas del cromo mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias
T1	90,5	1,0
T2	91,0	2,5
T3	91,0	2,5

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	0,86	0,651
Ajustado para empates	2,00	0,368

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 8-4, indica los valores de cromo, según el TULSMA los valores máximos permisibles de contaminación se encuentran en 91 ppm, de acuerdo con los criterios de (Villacís, 2017), cuando los niveles de cromo en el suelo exceden los 90 ppm, se rebasa el límite establecido indicando que se está reduciendo la biodiversidad y su vez afectando la calidad general del suelo, al aplicar la prueba Kruskal Wallis se comprobó que no existen diferencias entre los tratamientos T2 Y T3 (91ppm) mientras que T1 muestra un valor de 90 ppm y ya que está dentro de los valores establecidos por el TULSMA.

Tabla 14-4: Estadísticas descriptivas del cadmio mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias
T1	9,55	1,0
T2	10	2,5
T3	10	2,5

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	0,86	0,651
Ajustado para empates	2,00	0,368

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

La tabla 9-4, indica los valores del cadmio con los tratamientos, según el criterio del TULSMA los valores máximos permisibles de contaminación por cadmio se encuentran en 10 ppm, según (Pilco, 2020), cuando los niveles de cadmio en el suelo sobrepasan los 10 ppm, el suelo puede perder sus nutrientes, al aplicar la prueba Kruskal Wallis se comprobó que no existen diferencias entre los tratamientos T2 Y T3 (10 ppm), sin embargo, el T1 (9,55ppms) cumple con los valores permisibles establecidos por el TULSMA.

Tabla 15-4: Estadísticas descriptivas del vanadio mediante Kruskal-Wallis

Tratamientos	Mediana	Clasificación de medias
T1	130,1	1,0
T2	130,5	2,5
T3	130,5	2,5

Método	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	0,86	0,651
Ajustado para empates	2,00	0,368

Realizado por: Brayan Castillo, 2023

Según (Villacreces, 2020). cuando los niveles de vanadio en el suelo sobrepasan los 130 ppm, puede interferir con la absorción de otros nutrientes esenciales, como el hierro, y causar deficiencias nutricionales, La tabla 14-4, indica los valores de vanadio, al aplicar la prueba Kruskal Wallis se comprobó que no existen diferencias entre los tratamientos T2 y T3 (130,5 ppm), el T1 muestra un valor de 130,1 ppm que al comparar con el TULSMA se encuentra dentro de los valores permitidos (130,5 ppm).

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó 27 especies fitorremediadoras de las cuales el 59% son especies cultivadas e introducidas, las especies fitorremediadoras con mayor capacidad de absorber diversos metales pesados fueron la *Equisetum arvense* L., *Ruta graveolens* L., *Raphanus sativus* L., *Coriandrum sativum* L., y la *Urtica urens* L., destacan su potencial en la fitorremediación de suelos contaminados, estas plantas no solo acumulan y transforman contaminantes, sino que también ofrecen una opción sostenible y económica para enfrentar desafíos ambientales.
- La utilización del programa Google Earth permitió una definición precisa del área de estudio, resaltando sus características físicas, químicas y biológicas, además, la planificación del huerto a través del programa Garden Planner resultó fundamental, dividiendo el área en dos secciones estratégicas: una destinada a la observación del desarrollo natural de las semillas de estudio en surcos horizontales y la otra a la implementación de tratamientos en lechos diseñados específicamente para optimizar el crecimiento de las especies vegetales.
- El presente estudio ha demostrado que el *Raphanus sativus* L., en comparación con el *Coriandrum sativum* L., y la *Urtica urens* L., supera a sus contrapartes en términos de descontaminación, los resultados obtenidos en esta investigación revelan que el rábano puede reducir significativamente los niveles de contaminantes en el suelo en el ámbito ambiental, las concentraciones iniciales de níquel 120 ppm, cromo de 91 ppm, cadmio 10 ppm y vanadio 130,5 superaban los criterios de contaminación establecidos por el TULSMA, los números registrados después del proceso de fitorremediación con rábano, presentaron valores de 119,33 ppm de níquel, 90 ppm de cromo, 9,55 ppm de cadmio y 130,1 ppm de vanadio, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles, lo que destaca su capacidad para restaurar la calidad del suelo.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere llevar a cabo un análisis de la presencia y actividad de nematodos en suelos contaminados por hidrocarburos, este proceso de análisis recubre una importancia fundamental debido a que los nematodos, como componentes clave de la biota del suelo, desempeñan un papel esencial en la regulación de la estructura y funcionalidad del ecosistema edáfico.
- Se recomienda realizar una investigación sobre la *Urtica urens* como un bioindicador de la contaminación del suelo, se presenta como una estrategia prometedora y fundamental en la evaluación del estado ambiental de los ecosistemas terrestres, la ortiga, debido a su biología y ciclo de vida, muestra sensibilidad a las alteraciones en el entorno edáfico y puede manifestar cambios en su morfología, fisiología y composición química en respuesta a los niveles de contaminación presentes.
- Se recomienda emplear técnicas eco amigables para el desecho de las plantas contaminadas, una vez que han cumplido su papel fitorremediador en suelos contaminados, como el compostaje controlado, la disposición controlada, y la fitorremediación secundaria.
- Se recomienda extender la implementación de este proyecto, ya que la fitorremediación ha demostrado ser un enfoque altamente efectivo en investigaciones previas para la restauración ambiental, dado que su capacidad para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del suelo se manifiesta de manera notable a lo largo del tiempo.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALMENDROS, p. "Criterios de calidad de suelos y de aguas o efluentes tratados para uso en riego" . *cobre*. [en línea] 2008. [citado el: 21 de agosto de 2023.] http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/anexo_a/cobre.pdf.

ALTAMIRANO & HARO, Juan Pablo. *Valuación de la fitorremediación en suelos agropecuarios, con altas concentraciones de azufre, La Matriz, Guano, Provincia Chimborazo.* Chimborazo : Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 2020. ISSN 713-723.

ALTAMIRANO, Elizabeth. "Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca jun-jun" [en línea] 2019. [citado el: 1 de agosto de 2023.] <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/tesis-238%20%20ingenier%c3%ada%20agron%c3%b3mica%20-cd%20641.pdf>.

ARAGÓN, Henry Ariel GARCÍA, MARTÍNEZ, Juver José SEQUEIRA & AMADOR, Carlos ÁLVAREZ. *Manejo y características de los suelos agrícolas de colonia Providencia, Nueva Guinea.* Caribe : URACCAN, 2020. ISSN 2311-5807.

ASHRAF, s, et al. "Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils". [En línea] 2019. [Citado el: 18 de Abril de 2023.] <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068.714-727>.

AWA, Hui & t, HADIBARATA. "Removal of Heavy Metals in Contaminated Soil by Phytoremediation Mechanism". [En línea] 2020. [Citado el: 19 de Abril de 2023.] <https://doi.org/10.1007/s11270-020-4426-0>.

BOHÓRQUEZ, A., PUENTES, & MENJIVAR, J.C. *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar.* Colombia : Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 2015. 73-81.

BONILLA, Sara. "Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación". [En línea] *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*, Mayo de 2013. [Citado el: 3 de Agosto de 2023.] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>.

BORBÓN, Diana Susana URÍAS y TORRE, José Manuel OCHOA "Redalyc.org". *Huertos urbanos como estrategia de resiliencia urbana en países de desarrollo*. [En línea] 30 de Junio de 2020. [Citado el: 10 de Abril de 2023.] <https://www.redalyc.org/journal/6651/665170465004/665170465004.pdf>.

BORSELLI, Lorenzo. "GEOTECNIA I". *Año Académico 2022-2023*. [En línea] Universidad Autonoma San Luis de Potosi, 14 de Octubre de 2022. [Citado el: 29 de Abril de 2023.] https://www.lorenzo-borselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf.

BRTNICKY et al. *Long-Term effects of biochar-based organic amendments on soil microbial parameters*. s.l. : Agronomy, 9 (747), 2019. 1-16.

BUENO, Mariano. *El huerto familiar ecológico*. s.l. : RBA LIBROS, 2015.

CANALS, Marc VIÑAS. "Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica". [En línea] Universitat de Barcelona, 2005. [Citado el: 11 de Agosto de 2023.] https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/2396/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf.

CASTRO & TORRES. *Evaluación de enmiendas en el proceso de compostaje de residuos de curtiembres*. *Revista Producción + Limpia*. Colombia : P+L co, 2016. 53-59.

COGAYO, Lesly. "Determinación de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales (lactuca sativa L) y (medicago sativa) en procesos de fitorremediación en suelos agrícolas en la parroquia de perucho del d.m.q. en el periodo de marzo 2019-febrero 2020". [En línea] *Universidad Tecnica De Cotopaxi, Febrero De 2020*. [Citado el: 3 de Agosto de 2023.] <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6779/1/PC-000923.pdf>.

CONTRERAS, Daniela Soledad PONCE. "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos". [En línea] 2 de Septiembre de 2014. [Citado el: 11 de Julio de 2023.] <http://repopib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/135>.

CRUZ, Alex Ruben HUAMAN. *Aplicacion de biol en cultivos de rabano*. Lima : Universidad Union Peru, 2019.

CRUZ, Martha Edith y BONILLA, Edilma. "Diseño y Construcción de una Mediación Pedagógica Basada en el Uso de Huertos/Jardines Escolares para Fortalecer el Clima Escolar Inclusivo en un Grupo de Estudiantes de la IE Antonio Baraya Sede Rómulo Borrero Duran y CE la Unión Sede Bejucal del Municip". [En línea] 2021. [Citado el: 8 de Agosto de 2023.] <https://grupoimpulso.edu.co/wp-content/uploads/2022/03/86.-Diseno-y-Construccion-de-una-Mediacion-Pedagogica-Basada-en-el-Uso-de-HuertosJardines-Escolares.pdf>.

CUETIA, Navia et al. *Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (Solanum lycopersicum)*. Colombia : Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 2013. 2:165-173..

DELGADILLO, Angelica. "Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación". [En línea] SciELO, Mayo de 2011. [Citado el: 4 de Septiembre de 2023.] [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002.ISSN 1870-0462.](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002.ISSN%201870-0462)

Elizabeth, MOPOSITA Llundo LICEÑA. "Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ciencia E Ingeniería En Alimentos Y Biotecnología Carrera De Ingeniería En Bioquímica". [En línea] Octubre de 2019. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30459/1/BQ%20200.pdf>.

Eugenio, Natalia RODRÍGUEZ. "La contaminación del suelo: una realidad oculta". [En línea] 2019. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>.

FAO. "La contaminación del suelo una realidad oculta". [En línea] Universidad de Adelaida, 2019. [Citado el: 11 de Agosto de 2023.] <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>.

FLORES, José C. GARCÍA, et al. scielo.org. *Estrategia de vida en el medio rural del altiplano central mexicano: el huerto familiar*. [En línea] diciembre de 2016. [Citado el: 11 de Abril de 2023.] https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722016000400621&script=sci_arttext. ISSN 1870-5472.

FLORES, José Carmen GARCÍA. "ri.uaemex.mx". *Análisis agroecológico de huertos familiares al sur del estado de mexico. Estrategia de conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria*. [En línea] Agosto de 2016. [Citado el: 10 de Abril de 2023.]

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65897/TESIS%20MCA%20JOSE%20CARMEN%202016-split-merge.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.

FLORES, Santiago. "Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamento de guarumales-celec". [En línea] *Universidad De Cuenca*, 2017. [Citado el: 20 de Agosto de 2023.] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27211/1/tesis.pdf>.

FORJÁN et al. *Remediation of soli polluted with inorganic cotaminants: role of organic amendmets. In: Anjum N., Gill S., Tuteja N. (eds) Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants. Springer, Cham. s.l. : Crossref, 2017. ISBN 978-3-319-55422-8.*

GARCÍA, Efren. "goconqr". *Fitorremediación (mapa mental)*. [En línea] 2022. [Citado el: 11 de Abril de 2023.] <https://www.goconqr.com/mapamental/32349597/fitorremediacion-mapa-mental>.

GARCÍA, Juan Carlos CAMARGO. "Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia". [En línea] 15 de Enero de 2014. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v64n2/v64n2a8.pdf>. ISSN 2323-0118.

GARCÍA, Luis. *Fitorremediación plantas medicinales agrobiodiversidad*. [En línea] 2021. [Citado el: 31 de Julio de 2023.] <https://www.yumpu.com/es/document/view/65234989/fitorremediacion>.

GÓMEZ, D. "El Manganeso y la Viticultura: una revisión". [En línea] 2014. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf.

GÓMEZ, José, et al. *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*. Lima : Revista peruana de biología, 2014.

GÓMEZ, Nayesli Leticia MÉNDEZ. *Procesos de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio: Revisión de Literatura*. Zamorano-Honduras : s.n., 2020.

GONZALES, Diandra Noelia CORTEZ. "repositorio.upn.edu.pe/". *Técnicas de fitorremediación para solucionar la contaminación de suelos por actividad minera*. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de Abril de 2023.] <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22045/Cortez%20Gonzales%20Diandra%20Noelia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

GONZALES, Janet et al. *Fitorremediación usando Medicago sativa "alfalfa"*. Perú : Searching-Science, 2018. ISBN.

GUEVARA, Carmen Isabel. "Gobierno Autónomo". *Descentralizado Parroquial Rural Licto*. [En línea] 2019. http://app.sni.gov.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660823340001_PDYOT%20OLICTO%202015-2019_29-10-2015_13-39-04.pdf.

GUEVARA, Dorkas ANDINA. "Calcio y magnesio del suelo". [En línea] 2017. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1494945225/module/7956234176/name/Calcio%20y%20Magnesio%20Xi.pdf>.

HARVEY, Tello Felix ADOLOFO. *Eficacia de acumulación de la ortiga (urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la provincia constitucional del callao*, 2018. Perú : universidad alas peruanas, 2018.

HERNÁNDEZ, Maybis Eugenia LÓPEZ & HERNÁNDEZ, Osman Enrique MORALES. "Fitorremediación desuelos contaminados pormetales pesados: una revisión". [En línea] 3 de Septiembre de 2022. [Citado el: 18 de Abril de 2023.] <https://www.lamjol.info/index.php/elhigo/article/view/15197/18001>. ISSN 2413-1911.

HERRERA, Teodoro. "La contaminación con cadmio en suelos agrícolas". [En línea] *Universidad Central de Venezuela*, 2000. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112.

KANWAR, Singh, et al. "Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment":. *a critical review*. Springer. [En línea] 2020. [Citado el: 19 de Abril de 2023.] <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10713-3>. 44835–44860.

LAGHLIMI, M & A, BAGHDAD. "Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils". [En línea] 2015. [Citado el: 18 de Abril de 2023.] <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2015.58031.75-388>.

LÓPEZ, Roberto Aurelio NÚÑEZ, et al. "Fitorremediación". *Fundamentos y aplicaciones*. [En línea] Ciencia, Julio-Septiembre de 2004. [Citado el: 16 de Enero de 2023.] https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf.

LÓPEZ, Roberto. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. [En línea] Septiembre de 2004. [Citado el: 4 de Septiembre de 2023.] https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf.

MADERA, Carlos. "Fitorremediación: técnica aplicada a la recuperación de suelos agrícolas contaminados por plaguicidas. [en línea] universidad de córdoba, 2020". [Citado el: 2 de Agosto de 2023.] <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3906/Madera%20Sarmiento%20Carlos%20Andres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MAHMOOD & MALIK. *Human health risk assessment of heavy metals via consumption of contaminated vegetables collected from different irrigation sources in Lahore, Pakistan.* Pakistan : Arabian Journal of Chemistry, 2014. 7 91-99.

MAMANI. *Efecto de biol en cultivo asociado de rábano (Raphanus sativus L.) y lechuga.* Bolivia : Universidad Mayor San Andrés - Facultad De Agronomía, 2014. 1-150.

Mario, PEÑA CASTRO Julián, et al. *Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales del petróleo.* Mexico : Terra Latinoamericana, 2006. ISSN 2395-8030.

MATA, Germán ESQUIVEL. "Importancia del hierro (fe) en la agricultura". [En línea] 2010. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] [http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_\(Fe\)_en_la_agricultura_peruana.pdf](http://drokasa.pe/application/webroot/imgs/notas/Importancia_del_Hierro_(Fe)_en_la_agricultura_peruana.pdf).

MONTOYA, EdelweissAiram RANGEL. 2014. IMPACTO DEL ARSÉNICO EN EL AMBIENTE Y SU TRANSFORMACIÓN POR MICROORGANISMOS. [En línea] Abril de

2014. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00103.pdf>.

MURILLO, Sergio, MENDOZA, MORA Alexander & Fadul, VÁSQUEZ Carlos Julio. 2020. *La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola.* Colombia : Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, 2020. vol. 7, no 1, p. 58-68..

NAVARRO, Francisco José MURCIA. "Caracterización del contenido de cromo, su disponibilidad y sus interacciones con las propiedades del suelo para evaluar el potencial uso de la fitoextracción". [En línea] *Universidad Politécnica de Cartagena, 2014.* [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT%202014/1896711835.pdf>.

PEÑA, Enrique. "Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso heliconia psittacorum (heliconiaceae)". [En línea] 2013. [Citado el: 4 de Septiembre de 2023.] <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v37n145/v37n145a04.pdf>. ISSN 0370-3908.

PÉREZ, José Heriberto AGUILAR. 2014. *Manual para el manejo orgánico del nogal pecanero.* Zaragoza : Palibro, 2014.

PRIETO MÉNDEZ, Judith, et al. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". [En línea] *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2009.* [Citado el: 4 de Septiembre de 2023.] <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>. E-ISSN: 1870-0462.

PUENTE, Byron y MOROCHO, Jessica. "Para evitar los problemas causados por el cadmio en el suelo, en muchos lugares se ponen límites a la cantidad permitida de este metal en la tierra. Estos límites se basan en estudios científicos que evalúan los riesgos para la salud de las personas y e". [En línea] 2019. [Citado el: 1 de Agosto de 2023.] <file:///C:/Users/BRYAN/Downloads/UPS-CT008624.pdf>.

QUÍMI, Michelle. "Especies exóticas en el ecuador continental: origen, causas y tiempo de residencia de plantas introducidas. [en línea] universidad de guayaquil, 2021". [Citado el: 8 de Agosto de 2023.] <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/52818/1/Quimi-Michelle-CD.pdf>.

RAIMUNDO, Jimenez BALLESTA. *Introducción a la contaminación de suelos.* España : Ediciones Mundi-Prensa, 2017. ISBN 978.

Rojas, Daniel. "Fitorremediación plantas medicinales agrobiodiversidad". [En línea] 2021. [Citado el: 31 de Julio de 2023.] <https://www.yumpu.com/es/document/view/65234989/fitorremediacion>.

ROMERO, Julio César AMEZCUA y FLORES, Miguel LARA. "El zinc en las plantas". [En línea] 2017. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf.

ROQUE, Hilker URDANIVIA. "Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado". [En línea] *universidad nacional daniel alcides carrión, 2019.* [Citado el: 4 de Abril de 2023.] http://45.177.23.200/bitstream/undac/2072/1/T026_44658836_T.pdf.

ROSAS, Acevedo HORTENCIA. *FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO, CADMIO Y CROMO CON RÁBANO (*Raphanus sativus* L.) Y CILANTRO (*Coriandrum sativum* L.).* Mexico : UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2021.

SÁNCHEZ, Melissa. "Fitorremediación plantas medicinales agrobiodiversidad". [En línea] 2021. [Citado el: 31 de Julio de 2023.] <https://www.yumpu.com/es/document/view/65234989/fitorremediacion>.

SARMIENTO, Guido. Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost. [En línea] 31 de Enero de 2022. [Citado el: 8 de Agosto de 2023.] [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2021000300199&script=sci_arttext&tlng=es#:~:text=El%20Pb%20es%20un%20elemento.et%20al.%2C%202009\)..](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2021000300199&script=sci_arttext&tlng=es#:~:text=El%20Pb%20es%20un%20elemento.et%20al.%2C%202009)..)

SHAH & A, DAVEREY. 2020. "Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment". [En línea] 2020. [Citado el: 19 de Abril de 2023.] <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>.

SHAH, V & DAVEREY, A. 2020. "Environmental Technology & Innovation Phytoremediation". *A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil.* [En

línea] 2020. [Citado el: 18 de Abril de 2023.] <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>. ISSN 18-100774.

SILVA, Jorge. "Fitorremediación plantas medicinales agrobiodiversidad" . [En línea] 2021. [Citado el: 31 de Julio de 2023.] <https://www.yumpu.com/es/document/view/65234989/fitorremediacion>.

SILVA, Jorge, et al. "Fitorremediación plantas medicinales agrobiodiversidad". [En línea] 2021. [Citado el: 31 de Julio de 2023.] <https://www.yumpu.com/es/document/view/65234989/fitorremediacion>.

Stiven, MEDINA BUSTOS Wilson. "Dspace.espoch.edu.ec". *Estudio de la agrobiodiversidad de huertos*. [En línea] 13 de Febrero de 2020. [Citado el: 10 de Abril de 2023.] <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16879/1/23T00814.pdf>.

TOBAR, Dilandia Nelly, CARABALÍ, Diana Johana & BONILLA, Deyanira Stella. "Revista Interamericana". *La huerta escolar como estrategia en el desarrollo de competencias y el pensamiento científico*. [En línea] 17 de Agosto de 2019. [Citado el: 10 de Abril de 2023.] <https://revistas.usantomas.edu.co/index.php/riep/article/view/5462/5205>.

TROPICOS. "Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador". [En línea] Missouri Botanical Garden, 2023. [Citado el: 8 de Agosto de 2023.] <http://legacy.tropicos.org/Project/CE>.

UV, Biología. 2015. "uv.mx". *Tipos de huertos*. [En línea] 2015. [Citado el: 10 de Abril de 2023.] <https://www.uv.mx/hab/files/2021/05/Tipos-de-huertos.pdf>.

VELASQUEZ, Natalia. "Sociedad Sostenible". *Fertilizantes Químicos Vs. Fertilizantes Orgánicos*. [En línea] WordPress, Mayo de 2021. [Citado el: 1 de Enero de 2023.] <https://sociedadsostenible.co/fertilizantes-quimicos-vs-fertilizantes-organicos/>.

VELASTEGUÍ, Luisa. 2016. "Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo vi aplicando fitorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua". [En línea] 4 de Febrero de 2016. [Citado el: 17 de Enero de 2023.] <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4892/1/236T0182.pdf>.

VILLACRECES, Luis. "Evaluación de vanadio como indicador de contaminación de origen petrolero". [En línea] 2020. [Citado el: 21 de Agosto de 2023.] <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8147/1/AC-SGA-ESPE-047634.pdf>.

VILLALBA, Monserrat VÁZQUEZ. *Fitoextracción de plomo, cadmio y cromo con rabano y cilantro.* México : Universidad Autónoma de Mexico , 2021.

YÁNEZ, Patricio & BÁRCENAS, Miriam. "determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector baeza-el chaco, ecuador". [En línea] *LA GRANJA*, 8 de Junio de 2012. [Citado el: 3 de Agosto de 2023.] <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/15.2012.03>.

ZULMA, Karo. "repositorio.undac.edu.pe". *Écnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai.* [En línea] 2018. [Citado el: 11 de Abril de 2023.] <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf>.



ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



ANEXO B: CONSTRUCCIÓN DE LAS CAMAS



ANEXO C: OBTENCIÓN DE LOS SUELOS PARA EL ESTUDIO



ANEXO D: COLOCACIÓN DE LAS CAMAS EN LA ZONA DE ESTUDIO



ANEXO E: OBTENCIÓN DE LOS SUELOS PARA LOS ANALISIS INICIALES



ANEXO F: SIEMBRA DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMIADORAS



ANEXO G: SIEMBRA DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMIADORAS EN EL HUERTO



ANEXO H: BROTES DE LAS ESPECIES VEGETALES FITORREMIADORAS



ANEXO I: ANALISIS FINALES DE LAS MUESTRAS DE SUELO CONTAMINADO





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05/01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos:	Brayan Fernando Castillo Coba
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	Recursos Naturales
Carrera:	Recursos Naturales Renovables
Título a optar:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

